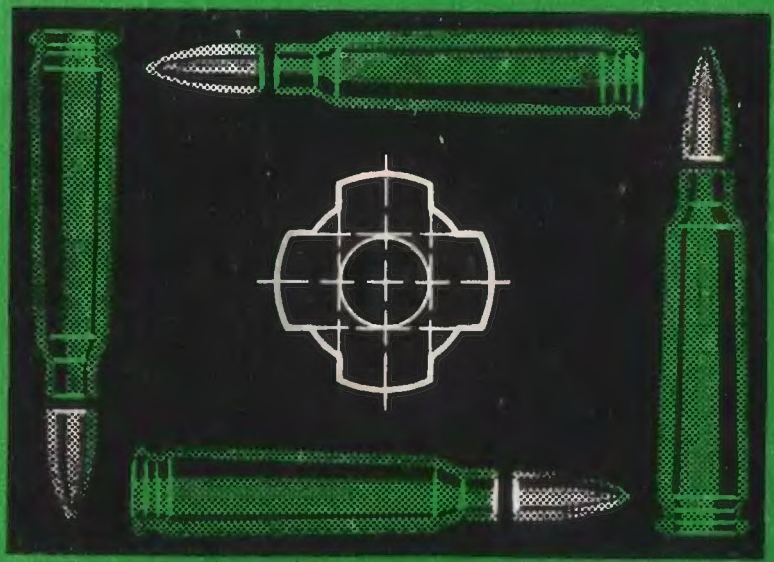
VISIT…

В. М. КИРИЛЛОВ, В. М. САБЕЛЬНИКОВ



ПАТРОНЫ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ

1980

В. М. КИРИЛЛОВ, В. М. САБЕЛЬНИКОВ

ПАТРОНЫ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ

1980

УДК 623.455.3

Кириллов В. М., **Сабельников В. М.**

Патроны стрелкового оружия. — М.: [illegible], 1980, 372 с.

Изложены вопросы действия пуль по целям, обеспечения устойчивости и прочности пуль, прочности и экстракции гильз, дан выбор баллистического решения и условий заряжания. Приведены основные сведения об устройстве патронов и их элементов, о капсюлях-воспламенителях и порохах патронов стрелкового оружия. Материал в каждой главе иллюстрирован примерами расчета. Книга может быть полезна инженерно-техническим работникам отрасли и студентам вузов и техникумов.

Специальные научные редакторы
А. Н. Половнев, В. М. Мартынов

© [illegible]

ВВЕДЕНИЕ

Патроны как комплексные изделия, предназначенные для выстрела из огнестрельного стрелкового оружия (унитарные патроны), начали применять во второй половине прошлого столетия. Они находятся на вооружении армий и в настоящее время. Под действием силы давления пороховых газов, образующихся при сгорании порохового заряда во время выстрела, пуля развивает в канале ствола оружия большую скорость и способна поражать цели на большом удалении от оружия. Патроны реализуют таким образом основное назначение оружия — поражение живой силы или боевой техники противника в бою.

На всем протяжении истории развития оружия существовали устойчивые тенденции повышения эффективности стрельбы (действие пуль по целям, дальность, меткость, скорострельность) и маневренных качеств оружия при наименьших затратах материальных средств и людских ресурсов в производстве и эксплуатации вооружения. В результате этих тенденций на вооружении армий существуют разветвленные системы стрелкового оружия и патронов, различных по калибрам, конструкции и другим особенностям. Наряду с боевыми патронами разработана широкая номенклатура различных вспомогательных и специальных патронов. Все это определило специальную область знаний и техники, занимающуюся изучением проблем, исследованием, проектированием, разработкой и технологией изготовления патронов стрелкового оружия.

О масштабе производства патронов можно судить по опыту Великой Отечественной войны. Только в течение последних трех лет войны советская промышленность выпускала ежегодно около 2 млн. автоматов, до 450 тыс. ручных и станковых пулеметов, свыше 3 млн. винтовок и карабинов. В 1944 г. было выпущено 7,4 млрд. патронов.

Унитарные патроны были впервые успешно применены в австро-прусской войне 1866 г. и северо-американской войне 1861—1865 гг. Лишь к этому времени сложились все необходимые технические предпосылки для производства казнозарядного оружия и унитарных патронов, хотя огнестрельное оружие известно и при-

менялось в войнах с первой половины XIV в. *. В это время у нас и за рубежом предлагалось много различных систем оружия и унитарных патронов с бумажными и металлическими гильзами. Большой вклад внесли в совершенствование оружия и патронов русские конструкторы и ученые, в том числе В. Л. Чебышев, офицеры Н. М. Баранов, А. П. Горлов, К. И. Гунниус и многие другие.

Производство унитарных патронов с металлической гильзой в России было начато в 1869 г. В начале 1869 г. выпускала патроны мастерская Охтинского порохового завода, а в мае началось оборудование нового патронного завода в Петербурге, 31 июля завод начал выпускать патроны, а уже к ноябрю этого же года производительность его составила около 30 млн. патронов в год.

В 1885 г. членом артиллерийского комитета П. Роговцевым был разработан и предложен патрон для русской трехлинейной винтовки. Этот патрон был в то время наиболее совершенным, а после частичных изменений его конструкции и технологии производства успешно выполняет свое назначение до сих пор.

Важным шагом в совершенствовании патронов и баллистических качеств оружия явилось получение бездымного пироксилинового пороха пиротехником Г. Г. Сухачевым в России в 1887 г. Знаменитый русский ученый Д. И. Менделеев изобрел в 1890 г. особую форму пироксилина — пироколлодий — и разработал наиболее совершенный пироколлодийный порох и технологию его изготовления.

Ранее использовались тупоконечные пули, несовершенные в баллистическом отношении. Остроконечная, более обтекаемая пуля была предложена капитаном Г. П. Киснемским в 1894 г., и только в 1906 г. была создана специальная комиссия по разработке остроконечной пули, которая в 1908 г. приняла на вооружение русской армии остроконечную пулю. Последующая разработка тяжелой пули и специальных пуль, изменение материалов, элементов конструкции и технологии изготовления лишь приводили винтовочный патрон как основной патрон для винтовок, карабинов и пулеметов в соответствие с современными требованиями.

Для увеличения дальностей эффективной стрельбы пистолетов-пулеметов (автоматов под пистолетные патроны), получивших широкое применение во второй мировой войне, возникла необходимость создания специального автоматного патрона, более мощного по сравнению с пистолетным патроном и менее мощного по сравнению с винтовочным патроном. Эта проблема была оперативно решена в Советском Союзе Б. В. Семиным, П. В. Рязановым и Н. М. Елизаровым (руководитель), разработавшими 7,62-мм патрон обр. 1943 г. с необходимой номенклатурой специальных пуль.

---

* Об огнестрельном оружии в России впервые упоминается в 1382 г. Оно применялось в бою против войск татарского хана Тахтамыша, осаждавших Москву.

За большой вклад в совершенствование стрелкового оружия эти конструкторы удостоены Государственной премии.

После Великой Отечественной войны, в связи с бурным развитием военной техники и вооружения, появлением ракетно-ядерного оружия и рассредоточением боевых порядков войск, возникла настоятельная необходимость дальнейшего улучшения баллистических качеств автоматного патрона.

Кроме основных стрелковых патронов — винтовочного и автоматного — на вооружении армий состоят револьверные, пистолетные, крупнокалиберные и другие патроны. По мере того как армия оснащается новыми образцами вооружения и боевой техники, меняются условия ведения боевых действий, оперативное искусство и тактика. Изменившиеся условия ведения боевых действий в свою очередь предъявляют новые требования к образцам вооружения и боевой техники. Эти образцы совершенствуются под влиянием новых требований, появляются новые, более совершенные образцы, меняются условия их боевого применения, опять возникают новые требования к ним и т. д. Так, в общих чертах, развивается вооружение и боевая техника, оперативное искусство и тактика, военное дело в целом.

Не составляет исключения развитие стрелкового оружия. Оно развивается под влиянием требований тактики, потребностей решать определенные огневые задачи в различных видах и стадиях современного боя. В зависимости от наличия в армии и возможностей других образцов и видов оружия, новые задачи решаются или путем усовершенствования существующего оружия и разработки новых образцов под существующий патрон, или путем разработки нового оружия с новыми боеприпасами.

Улучшение существующих и разработка новых образцов оружия под существующий патрон является непрерывным процессом совершенствования оружия. Создание нового патрона — явление сравнительно редкое. Зато оно связано с наиболее существенными, качественными изменениями в системе стрелкового вооружения. И в зависимости от того, как глубоки могут быть эти качественные изменения, какими преимуществами может обладать новое оружие, и решается важный вопрос — принимать на вооружение новый патрон или обходиться без нового патрона *.

Новые патроны разрабатываются и принимаются на вооружение редко не потому, что нет потребности их совершенствовать, а потому, что ограничены условия для этого. Недопустимо, например, изменение формы и размеров патрона, исключающее приме-

---

* За последние 70 лет в России лишь 4 раза принимался на вооружение новый патрон (исключая пистолетные патроны): в конце прошлого века — 7,62-мм винтовочный патрон, в 30-х годах — 12,7-мм патрон, во время Великой Отечественной войны — 14,5-мм патрон и 7,62-мм патрон обр. 1943 г.

нение его для стрельбы из ранее изготовленных образцов оружия. Такие изменения конструкции были бы равносильны принятию нового патрона. Чтобы использовать запасы ранее изготовленных образцов оружия, пришлось бы сохранить производство патрона старой конструкции.

Наличие двух однотипных, но не взаимозаменяемых патронов существенно усложнило бы снабжение армии патронами и оружием. Поэтому патрон оказывается наиболее устойчивым, «консервативным» элементом в системе стрелкового вооружения. Если образцы оружия могут непрерывно совершенствоваться, заменяться образцами новой конструкции, то с патроном так поступать обычно невозможно. Допустимы лишь такие изменения в его конструкции, которые не меняют его наружные размеры и форму и не исключают применение для стрельбы из ранее изготовленного оружия.

Ограниченность условий последующего совершенствования конструкции патрона объективно вынуждает решать задачу разработки нового патрона со всей тщательностью и ответственностью. Решению обычно предшествуют глубокие и всесторонние теоретические исследования, обоснование наивыгоднейших параметров нового патрона. На основании таких исследований проводятся опытно-конструкторские работы, задачей которых является проверка практического осуществления патрона с заданными параметрами и практическая проверка его возможностей. Результатом такой работы являются тактико-технические требования (ТТТ) к новому патрону, на основании которых он и изготавливается.

Наиболее важными качествами патрона являются его баллистические возможности эффективного действия по целям, габариты и вес, определяющие емкости питания в автоматическом оружии и размеры боевых комплектов. Определение оптимального сочетания высоких баллистических и боевых качеств патрона с минимальными размерами и весом является основной задачей при создании нового патрона.

В соответствии с этим принята структура предлагаемой книги, наиболее отвечающая последовательности создания нового патрона, основным требованием которого является обеспечение необходимого действия пули по цели на заданной дальности. Все остальные требования являются конкретизацией этого основного требования или условиями его выполнения. С методик исследования этой задачи начинается книга.

Основная задача может быть решена при различных сочетаниях калибра, веса, формы и скорости пули. Методикам исследования вариантов внешнебаллистического решения посвящается вторая глава. На этой основе решается задача о выборе условий заряжания (третья глава). Этим самым определяются основные характеристики патрона, на основе которых конструируются и рассчитываются отдельные его элементы.

Глава 1

ДЕЙСТВИЕ ПУЛЬ ПО ЦЕЛЯМ

1.1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ДЕЙСТВИИ ПУЛЬ ПО ЦЕЛЯМ

Под действием пули по цели понимается тот эффект, который она производит при попадании в заданную цель (преграду) на рассматриваемой дальности. Применительно к оружию, предназначенному главным образом для поражения живой силы противника (пистолеты, автоматы, карабины, ручные и станковые пулеметы), имеет важное практическое значение прежде всего *убойное действие* пули, обеспечивающее поражение живых целей вследствие нарушения жизненных функций организма.

Для револьверов и пистолетов, применяемых для стрельбы по противнику, находящемуся в непосредственной близости (до 50 м), наряду с убойным действием имеет большое значение *останавливающее действие* пули, т. е. способность пули наиболее быстро расстраивать жизненные функции организма, немедленно лишая противника возможности владеть своим оружием и способности к дальнейшему сопротивлению.

Убойное и останавливающее действия пули в значительной мере определяются ее *боковым действием* — способностью наносить поражения соседним с пулевым каналом областям организма. Боковое действие пули расширяет область поражения, увеличивая вероятность поражения наиболее важных для жизни органов.

Применительно ко всем видам стрелкового оружия имеет значение также *пробивное или проникающее действие* * пули, характеризуемое толщиной пробиваемой преграды или глубиной проникания ее в различные преграды на рассматриваемых дальностях.

Для стрельбы из стрелкового оружия, особенно крупного калибра, предусматривается обычно большая номенклатура специальных пуль, поэтому приходится рассматривать еще такие виды их действия, как фугасное (разрывное), зажигательное, трассирующее и другие.

---

* Эти понятия различаются условно: термином «пробивное действие» пользуются применительно к сквозным пробитиям твердых преград, а термином «проникающее действие» — применительно к несквозным пробитиям любых преград.

При выборе баллистического решения для стрелкового оружия приходится обращать внимание прежде всего на обеспечение механического, ударного, т. е. убойного и пробивного (проникающего) действия пули по целям. Другие виды действия пули (трассирующее, зажигательное и т. д.) обеспечиваются на основе выбранного баллистического решения, подчиненного ударному действию пули и настильности ее траектории.

1.2. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА УБОЙНОЕ ДЕЙСТВИЕ ПУЛЬ

Убойное действие (способность пули поражать живые цели) зависит от ряда конструктивных и баллистических свойств пули. Длительной практикой применения стрелкового оружия установлено, что убойное действие пули увеличивается при равных прочих условиях с увеличением калибра оружия (диаметра пули), увеличением скорости пули при встрече с целью, уменьшением длины (притуплением) головной части пули, с нарушением формы (деформацией) пули при ударе в цель и устойчивости ее при движении в организме. Все это справедливо при достаточно большом общем запасе кинетической энергии пули.

Характерно, что убойное действие пули увеличивается тогда, когда увеличивается сопротивление ее движению в организме. Такой вывод можно сделать из рассмотрения влияния перечисленных факторов на убойное действие пули. Вместе с тем увеличивается сопротивление движению пули в воздухе. Это обязывает обеспечивать необходимое убойное действие пули различным образом в зависимости от других требований, предъявляемых к оружию.

Применительно к оружию, предназначенному для стрельбы на малые дальности, например, к пистолетам, внешнебаллистические параметры пули (калибр и форма) не имеют практического значения и подчиняются требованию обеспечить высокое убойное (останавливающее) действие. Поэтому пистолеты имеют обычно большой калибр (9—11,43 мм), а пистолетные пули тупоконечную форму.

Применительно к оружию, предназначенному для стрельбы на средние и большие дальности (более 300 м), калибр и форма пули подчиняются требованию обеспечить лучшую настильность траектории. Необходимое убойное действие пули обеспечивается в этих случаях за счет большой скорости ее при встрече с целью на различных дальностях и иногда за счет частичного нарушения устойчивости, так как совершенные в баллистическом отношении пули, имеющие большие скорости вращательного и поступательного движения, чувствительны к нарушению устойчивости при встрече с преградами вследствие увеличения лобового сопротивления и опрокидывающего момента.

Возможности использования деформации пули для увеличения убойного действия ограничиваются двумя условиями: пуля может быть склонной к деформации не настолько, чтобы заметно умень-

шилось пробивное или проникающее ее действие, а искусственные меры ослабления конструкции пули не должны противоречить принятым международным соглашениям *.

1.3. ХАРАКТЕРИСТИКИ УБОЙНОГО ДЕЙСТВИЯ ПУЛЬ

Чтобы сравнивать убойное действие пули или оценивать его для одной пули при различных условиях, например, при стрельбе на различные дальности, надо иметь количественную характеристику этого действия. Обычно об убойном действии пуль судили и судят по результатам анализа ранений личного состава в боевых операциях. Характер повреждения мышечных тканей (коммоция, контузия) или разрушения костного скелета и других органов является наиболее достоверным материалом при оценке убойного действия существующих пуль. Однако он является результатом сравнительно длительного исследования и лишь частично может быть использован для оценки убойного действия проектируемых пуль.

Часто в качестве характеристики убойного действия пули принимают кинетическую или удельную кинетическую энергию ее при встрече с целью. Однако разная степень поражения организма различными по размерам и форме пулями при одной и той же кинетической энергии не позволяет считать ее достоверной характеристикой убойного действия. Она лишь характеризует возможности действия пули по целям.

Наблюдаются неоднократные попытки использовать для оценки убойного действия пуль результаты стрельбы по мишеням из различных материалов, например, свинца, мягкой глины, мыла и т. п. Смысл таких опытов заключается в том, чтобы, замерив образуемый пулей объем разрушения или его поперечные размеры, получить количественную зависимость этих характеристик от параметров пули и использовать ее для сравнительной оценки убойного действия пуль еще в процессе их проектирования.

Для сравнительной, ориентировочной оценки в качестве характеристики убойного действия пули предлагается принимать потерю ее кинетической энергии в мишени определенных свойств и размеров. Эта характеристика имеет также аналитическую зависимость от параметров пули и наиболее полно отражает влияние различных факторов на убойное действие пуль. При этом важно, чтобы опытная мишень по своим свойствам (прочность, плотность и вязкость) соответствовала свойствам мышечных тканей.

Другие характеристики убойного действия пуль, например, мощность поражения N (потеря кинетической энергии, отнесенная

---

* В декларации, принятой в 1899 г. в Гааге, говорится: «Договаривающиеся державы обязуются не употреблять пуль, легко разворачивающихся или сплющивающихся в человеческом теле, к каковым относятся оболочечные пули, коих твердая оболочка не покрывает всего сердечника или имеет надрезы».

ко времени действия пули) или импульс поражения I (изменение количества движения пули), зависят от потери кинетической энергии ΔE и имеют с ней лишь количественное расхождение, что видно из выражений:

$$N = \frac{v_{ср}}{s} \Delta E \text{ и } I = \frac{1}{v_{ср}} \Delta E,$$

где $v_{ср}$ — средняя скорость пули в мишени;

s — протяженность мишени в направлении движения пули.

1.4. РАСЧЕТ ПОТЕРЬ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПУЛИ

Для расчета потерь кинетической энергии пули, как характеристики убойного действия, примем следующие допущения:

пуля сохраняет устойчивость при полете в воздухе и при пробитии преград;

пуля не деформируется при пробитии преград;

пробивная среда однородна на пути пули.

Эти допущения характеризуют наиболее неблагоприятные условия для проявления убойного действия пули. При нарушении устойчивости пули, при деформации ее или при наличии на ее пути костного скелета и других органов, более важных для функционирования организма по сравнению с мышечными тканями, убойное действие пули будет проявляться в большей степени, если пуля имеет достаточный запас кинетической энергии.

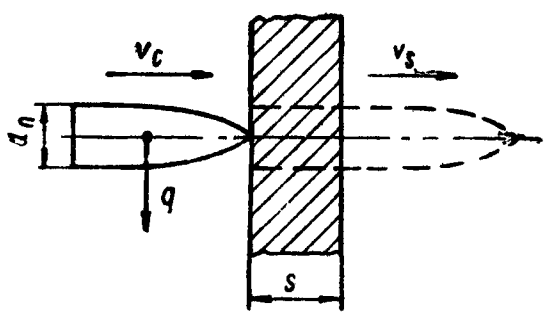


Рис. 1. Схема пробития пулей слоя преграды (мишени)

Потеря кинетической энергии ΔE при сквозном пробитии преграды толщиной s (рис. 1) имеет выражение

$$\Delta E = \frac{q}{2g} (v_c^2 - v_s^2), \qquad (1.4.1)$$

где v_c, v_s — скорости пули перед преградой и за преградой соответственно;

q — вес пули;

g — ускорение силы тяжести.

Скорость пули непосредственно за преградой можно определить, решая дифференциальное уравнение работы сил сопротивления

$$dE = -Fds.$$

Учитывая, что кинетическая энергия пули

$$E = \frac{qv^2}{2g},$$

а сила сопротивления ее движению

$$F = \lambda \frac{\pi d^2}{4} a(1 + bv^2),$$

имеем

$$ds = -\frac{q}{\frac{\pi}{2} g\lambda a d^2} \frac{d(v^2)}{1 + bv^2}.$$

Проинтегрировав полученное равенство в пределах пути от 0 до s и скорости от v_c до v_s, получим

$$s = \frac{q}{\frac{\pi}{2} g\lambda abd^2} \ln \frac{1 + bv_c^2}{1 + bv_s^2}. \qquad (1.4.2)$$

Определив отсюда выражение для v_s^2 и подставив его в равенство (1.4.1), получим

$$\Delta E = \frac{q}{2gb}(1 + bv_c^2)\left(1 - \exp\left\{-\frac{\pi}{2} g\lambda ab \frac{d^2}{q} s\right\}\right), \qquad (1.4.3)$$

где a — коэффициент, характеризующий влияние прочности пробиваемой среды на сопротивление прониканию пули в статических условиях. По опытным данным стрельбы в специальные мишени для убойного действия он равен $4{,}33 \cdot 10^5$ кгс/м^2;

b — коэффициент, характеризующий влияние плотности и вязкости пробиваемой среды на сопротивление прониканию пули в динамических условиях. По опытным данным стрельбы по мишеням для убойного действия он равен $1{,}8 \cdot 10^{-5}$ с^2/м^2;

λ — специальный коэффициент формы, характеризующий относительное влияние формы головной части пули на сопротивление ее прониканию. Если принять для 7,62-мм винтовочной пули $\lambda = 1$, то для других пуль, зная калибр d и длину головной части пули h, его можно определить по эмпирической зависимости для убойного действия

$$\lambda = 1{,}91 - 0{,}35 \frac{h}{d}. \qquad (1.4.4)$$

Протяженность пробиваемой среды в направлении движения пули s можно принять для убойного действия равной 0,1 м. Это удобно при вычислениях и проведении опытов, так как при пробитии мышечных тканей такой протяженности происходит достаточное падение скорости, чтобы зафиксировать его опытным путем с приемлемой точностью, и не нарушается устойчивость пули. Такая протяженность одного порядка с размерами поражаемых частей реальных живых целей.

С учетом сказанного выражение (1.4.3) для убойного действия окончательно можно переписать в таком виде

$$\Delta E = 2830\, q\,(1 + 1{,}8 \cdot 10^{-5} v_c^2)\left(1 - \exp\left\{-12\lambda \frac{d^2}{q}\right\}\right). \qquad (1.4.5)$$

При вычислениях должна соблюдаться размерность веса в килограмм-силах, протяженности в метрах, времени в секундах.

Выражение (1.4.5) несколько неудобно, требуется работа с логарифмами. Вычисления значительно упрощаются, если сопротивление мышечных тканей принять постоянным на протяжении $s = 0{,}1$ м и равным

$$F = \lambda \frac{\pi d^2}{4} a(1 + b) v_c^2.$$

Тогда потерю кинетической энергии можно определить так

$$\Delta E = \lambda \frac{\pi d^2}{4} a(1 + b v_c^2) s$$

или, с учетом значения коэффициентов и размеров мишени,

$$\Delta E = 34 \cdot 10^3 \lambda d^2 (1 + 1{,}8 \cdot 10^{-5} v_c^2). \qquad (1.4.6)$$

Значения ΔE по выражению (1.4.6) получаются несколько завышенными в сравнении с выражением (1.4.5), но разница является практически допустимой. Так, например, при $\lambda = 1$, $d = 7{,}62$ мм и $v_c = 500$ м/с по выражению (1.4.6) получается $\Delta E = 10{,}45$ кгс·м, а по выражению (1.4.7) — 10,90 кгс·м. Разница составляет 4,5%.

Какую норму потерь кинетической энергии следует принять для проявления минимально необходимого убойного действия пули, точно не установлено, однако представление о ней можно получить косвенным путем. Для винтовочных пуль длительное время считалась минимально необходимой для убойного действия кинетическая энергия порядка 8—10 кгс·м. Этой энергии соответствует скорость 7,62-мм легкой винтовочной пули порядка 130—140 м/с, а этой скорости соответствует потеря кинетической энергии около 3 кгс·м. Ее и следует считать в первом приближении минимально необходимой характеристикой убойного действия пули по живым целям, не имеющим защитных средств (каски, жилета и др.).

1.5. ПОРЯДОК ОЦЕНКИ УБОЙНОГО ДЕЙСТВИЯ ПУЛЬ

Если калибр и форма пули известны, то, пользуясь выражением (1.4.5) или (1.4.6), можно подсчитать потери кинетической энергии пули для различных значений скорости. Полученная зависимость $\Delta E(v_c)$ представлена на рис. 2. Учитывая, что потеря кинетической энергии пули практически не может быть больше общего запаса ее, начальный участок кривой следует строить по выражению

$$E_c = \frac{qv_c^2}{2g}.$$

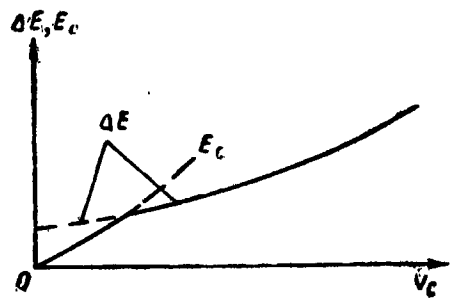


Рис. 2. Зависимость потерь кинетической энергии пули от ее скорости

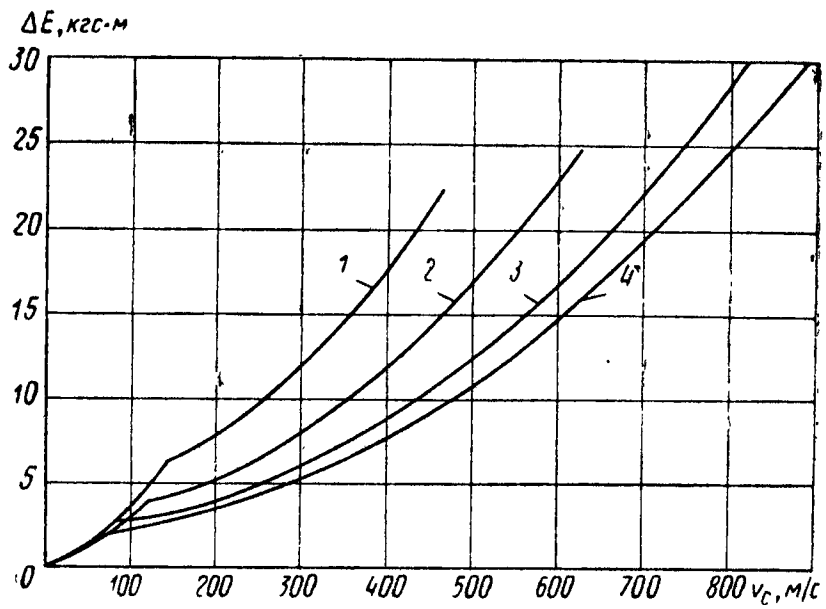


Рис. 3. Характеристики убойного действия пуль:
1 — 9-мм пистолетной; *2* — 7,62-мм пистолетной; *3* — 7,62-мм обр. 1943 г.; *4* — 7,62-мм винтовочной

Точка пересечения кривых ΔE и E_c означает границу сквозных и несквозных пробитий мишени толщиной $s=0{,}1$ м. Такая зависимость является *характеристикой убойного действия пули.* Характеристики убойного действия некоторых существующих пуль показаны на рис. 3.

Применительно к конкретным образцам оружия можно графически изобразить зависимость убойного действия пули от дальности (рис. 4). Такую зависимость условно можно назвать *характеристикой убойного действия пули данного образца оружия.* Для ее построения нужно знать зависимость скорости пули v_c от дальности X. Для существующих образцов оружия эта зависимость дается в таблицах стрельбы (основная таблица). Для проектируемых образцов оружия, для которых выбирается баллистическое решение, ее можно установить по таблицам внешней баллистики (основной функции)

$$cX = Д(v_c) - Д(v_0), \qquad (1.5.1)$$

где v_0 — начальная скорость пули;

$c = \frac{id^2}{q} 10^3$ — баллистический коэффициент пули;

i — коэффициент формы пули, который берется для того же закона сопротивления воздуха, для которого построены таблицы основной функции.

Значения основной функции $Д(v)$ приведены в табл. 1 приложения 1.

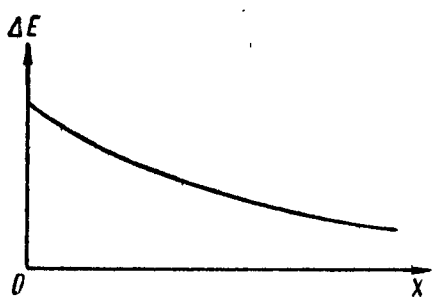


Рис. 4. Зависимость потерь кинетической энергии пули от дальности X

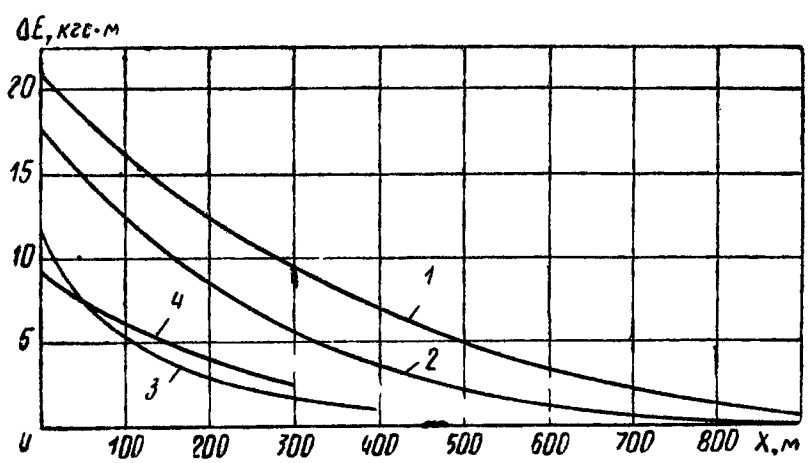


Рис. 5. Характеристики убойного действия пуль различных образцов оружия:
1 — 7,62-мм карабина обр. 1944 г.; *2* — 7,62-мм автомата Калашникова; *3* — 7,62-мм пистолета-пулемета (ППШ); *4* — 9-мм пистолета (АПС)

Для построения графика $\Delta E(X)$ в полной мере используется график $\Delta E(v_c)$. Имея такие графики для двух или нескольких образцов оружия, можно сравнивать их возможности по убойному действию пуль. Характеристики убойного действия пуль некоторых образцов оружия приведены на рис. 5.

1.6. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОБИВНОЕ И ПРОНИКАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ПУЛЬ

На пробивное и проникающее действие пули оказывают влияние свойства пробиваемой преграды и те же факторы, которые влияют и на убойное действие (см. параграф 1.2), только это влияние качественно иное. Характерным является то, что пробивное действие пули увеличивается тогда, когда уменьшается сопротивление ее движению в преградах. То, что увеличивает убойное действие пули, уменьшает ее пробивное действие. Увеличение калибра при сохранении равными прочих условий приводит к уменьшению пробивного действия. То же происходит при деформации пули и нарушении ее устойчивости.

Увеличение скорости пули приводит к увеличению пробивного действия до определенного предела, который определяется конструктивными свойствами пули и механическими свойствами пробиваемой преграды. Как только скорость удара достигает такой величины, при которой начинается деформация или разрушение пули, пробивное действие начинает уменьшаться (рис. 6).

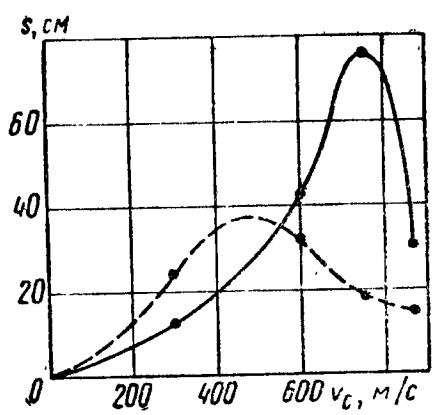


Рис. 6. Характеристика пробивного действия 7,62-мм легкой винтовочной пули при стрельбе по песку (— — —) и дереву (———)

В зависимости от механических свойств пробиваемых преград различным образом влияет на пробивное действие форма головной части пули. При стрельбе по жидким невязким преградам, по сыпучим и твердым преградам, не вызывающим деформации пули, пробивное действие ее увеличивается с увеличением длины головной части.

Наоборот, при стрельбе по вязким и упруго-податливым преградам небольшой плотности, например сухое дерево, пробивное действие уменьшается с увеличением длины головной части. По-

следнее объясняется увеличением поверхности контакта пули с пробиваемой преградой и увеличением сил трения ее о преграду. Пуля больше теряет энергии на преодоление сил трения и меньше проникает в преграду.

1.7. РАСЧЕТ ГЛУБИНЫ ПРОНИКАНИЯ ПУЛЬ В ПРЕГРАДЫ

В качестве характеристики пробивного действия пули принимается глубина ее проникания в преграды. Для упрощения расчета глубины проникания принимаются те же допущения, что и при расчете убойного действия (см. параграф 1.4).

Ранее было получено выражение (1.4.2), которое может быть принято для расчета пробивного действия пуль при сквозном пробитии преграды. Если в этом выражении принять $v_s = 0$, то получим выражение для максимальной глубины проникания пули в преграду в виде

$$s = \frac{q}{\frac{\pi}{2} g \lambda a b d^2} \ln(1 + b v_c^2),$$

или, объединив постоянные, в виде

$$s = 0{,}151 \frac{q}{\lambda a b d^2} \lg(1 + b v_c^2). \qquad (1.7.1)$$

Это разновидность известной формулы Н. А. Забудского. Значения коэффициентов λ, a, b будут для каждой пробиваемой среды свои, отличные от тех, которые брались при расчете убойного действия пуль. Они могут быть определены экспериментально, для чего необходимо иметь число опытных точек, равное числу определяемых коэффициентов.

Написав для каждой опытной точки выражение (1.7.1) или (1.4.2), получим систему уравнений, из которой и определяются значения коэффициентов. Например, для пакета сосновых досок при стрельбе 7,62-мм винтовочной пулей при $\lambda = 1$ имеем $a = 47{,}3 \cdot 10^5$ кгс/м^2 и $b = 0{,}202 \cdot 10^{-5}$ с^2/м^2.

Выражениями (1.7.1) или (1.4.2) можно пользоваться и в тех случаях, когда пуля разрушается при пробитии преграды, но имеет сердечник из стали или другого прочного материала, который не разрушается. В этом случае вместо веса пули, калибра и коэффициента формы пули (q, d, λ) в расчетах надо брать вес q_c, диаметр d_c и коэффициент формы λ_c сердечника.

При расчетах проникающего действия получила применение так называемая березанская * формула, основанная на допущении,

* Формула получена на основании опытных артиллерийских стрельб, проведенных в 1908—1912 гг. на острове Березань.

что сопротивление пробиваемой среды пропорционально глубине проникания

$$s = \lambda k_n \frac{q}{} v_c, \qquad (1.7.2)$$

где k_n — опытный коэффициент проникания.

При расчете пробивного действия пуль (снарядов) по броне широко используются одночленные формулы, в основе которых лежит допущение, что сопротивление прониканию постоянно и равно

$$F = k \frac{\pi d^2}{4} \left(\frac{s}{d}\right)^n,$$

а кинетическая энергия пули (снаряда) полностью расходуется на пробитие брони

$$\frac{q v_c^2}{2g} = Fs = k \frac{\pi d^2}{4} \left(\frac{s}{d}\right)^n s,$$

отсюда

$$v_c = K \frac{d^{\frac{n-2}{2}} s^{\frac{n-1}{2}}}{q^{0,5}},$$

где K — коэффициент бронепробиваемости.

При $n=0$, $n=1$ и $n=0{,}5$ получаем соответственно группу формул:

$$v_c = K \frac{d s^{0,5}}{q^{0,5}}; \qquad (1.7.3)$$

$$v_c = K \frac{d^{0,5} s}{q^{0,5}};$$

$$v_c = K \frac{d^{0,75} s^{0,75}}{q^{0,5}}. \qquad (1.7.4)$$

Условие $n=0$ означает пропорциональность сопротивления прониканию площади поперечного сечения пробоины

$$F = k_0 \frac{\pi d^2}{4},$$

$n=1$ — площади боковой поверхности пробоины

$$F = k_1 \pi d s,$$

$n=0{,}5$ — среднему геометрическому значению площади поперечного сечения и боковой поверхности пробоины

$$F = k_{0,5}\sqrt{\frac{\pi d^2}{4}\pi ds}.$$

Формула (1.7.4) с уточненным показателем степени при s

$$v_c = K\frac{d^{0,75}s^{0,70}}{q^{0,5}} \qquad (1.7.5)$$

носит название формулы Жакоб де Марра и наиболее распространена.

Коэффициенты бронепробиваемости K определяются опытным путем. Влияние угла встречи α на бронепробиваемость учитывается введением в формулу множителя $\frac{1}{\cos\alpha}$. Значение коэффициента бронепробиваемости зависит от свойств брони, конструктивных особенностей пули (снаряда), условий стрельбы и колеблется от 1600 до 2000 для гомогенной брони низкой твердости и от 2000 до 3000 для гетерогенной брони средней и высокой твердости. При расчете должна соблюдаться размерность калибра (диаметра сердечника) и толщины пробиваемой брони в дециметрах и веса пули (снаряда, сердечника) в килограмм-силах.

Часто для предварительных расчетов бронепробиваемости пользуются величиной удельной энергии пули (снаряда, сердечника) — величиной кинетической энергии бронепробивного элемента, отнесенной к площади его поперечного сечения. Толщина пробития брони принимается пропорциональной удельной энергии

$$s = k\frac{qv_c^2}{\frac{\pi}{2}gd^2}, \qquad (1.7.6)$$

где коэффициент k означает толщину пробиваемой брони (мм), приходящуюся на единицу удельной энергии (кгс·м/мм^2), и также определяется опытным путем. По некоторым опытным данным, для пуль со стальными сердечниками $k=3\div5$ мм^3/кгс·м в зависимости от качества брони.

1.8. ПОРЯДОК ОЦЕНКИ ПРОБИВНОГО ДЕЙСТВИЯ ПУЛЬ

Если калибр и конструкция пули известны, а свойства пробиваемой преграды заданы коэффициентами пробиваемости, то способом, аналогичным изложенному в параграфе 1.5, пользуясь формулами пробивного действия, можно рассчитать *характеристику пробивного действия пули по данной преграде,* как зависимость

глубины проникания пули в данную преграду от скорости удара. Пример такой характеристики дан на рис. 7.

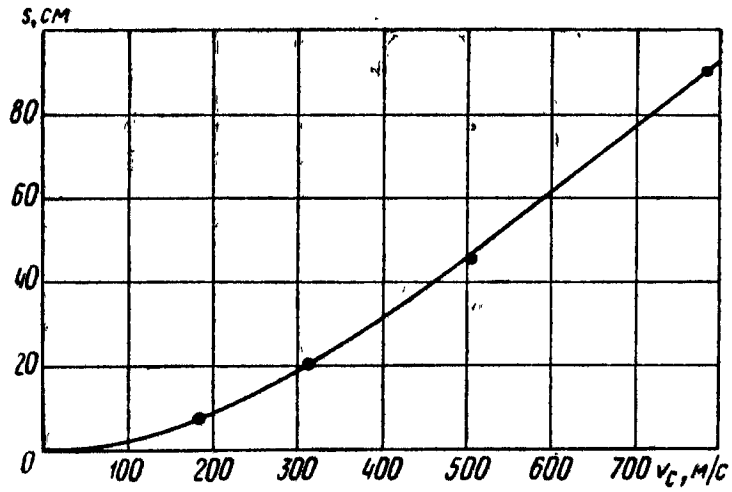


Рис. 7. Характеристика пробивного действия 7,62-мм винтовочной пули по пакету сухих сосновых досок

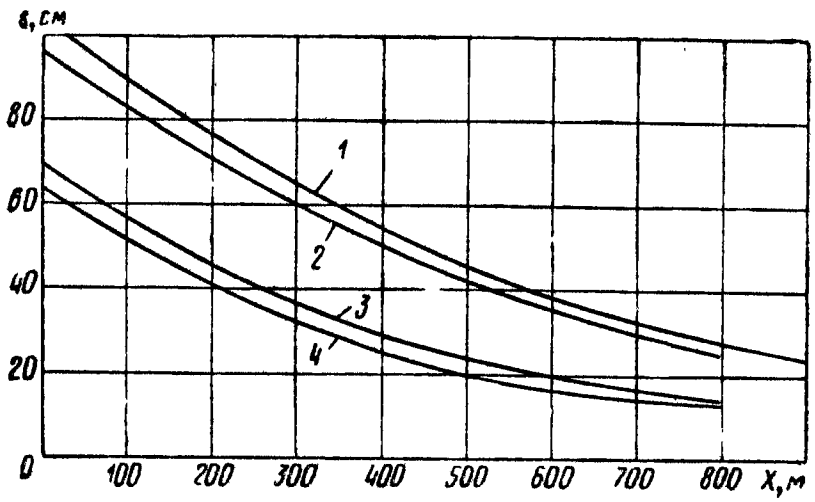


Рис. 8. Характеристики пробивного действия пуль по пакету сухих сосновых досок для различных образцов оружия:
1 — пулемета СГМ; *2* — карабина обр. 1944 г.; *3* — пулемета Калашникова; *4* — автомата Калашникова

Этим же способом можно определить *характеристику пробивного действия пули данного образца оружия по данной преграде* и сравнить пробивное действие двух или нескольких образцов оружия. Такие характеристики для некоторых образцов оружия показаны на рис. 8.

На практике необходимо бывает решить две задачи:

1) оценить убойное действие пули за преградой, которую предстоит пробить (задача анализа);

2) обеспечить требуемое убойное действие пули за преградой (задача синтеза).

При решении задачи оценки убойного действия пули за преградой следует воспользоваться формулой (1.4.2), определить по ней скорость пули за преградой v_s, а по скорости v_s определить потерю кинетической энергии ΔE, пользуясь формулой (1.4.5) или (1.4.6), заменив v_c на v_s. Если преграда прочная настолько, что пуля в ней разрушается, то пробивное и убойное действие следует рассчитывать для сердечника при принятых диаметре, форме и весе.

Задача обеспечения необходимого убойного действия пули за преградой может быть решена в следующем порядке. Сначала надо определить ту скорость пули или сердечника (в зависимости от того, разрушится пуля или нет), которая обеспечивает минимально необходимое убойное действие. Для этого следует воспользоваться формулой (1.4.5) или (1.4.6). Далее, пользуясь формулой (1.4.2), по заданным величинам толщины пробиваемой преграды s и скорости пули (сердечника) за преградой v_s можно определить необходимую скорость удара пули о преграду v_c и ее начальную скорость v_0, учитывая дальность стрельбы.

Значения коэффициентов пробиваемости к формулам (1.7.1) и (1.7.2) для некоторых видов преград, необходимые при расчете пробивного действия пуль, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения коэффициентов пробиваемости

Пробиваемая среда	a, 10^5 кгс/м^2	b, 10^{-5} с^2/м^2	k_n, 10^{-5} м^2·с/кгс
Свеженасыпанная земля	4,6	6	1,7
Песок (грунт)	4,35	2	0,45
Глина	10,45	3,5	1,0
Дерево (сосна, ель)	11,6	1,0	0,6
Кирпичная кладка	31,6	1,5	0,25

ПРИМЕРЫ

Пример 1.1. Определить характеристику убойного действия пули на дальности 400 м при стрельбе из 7,62-мм автомата Калашникова (АКМ).

Решение

Длина головной части пули $h=16{,}45$ мм. По выражению (1.4.4)

$$\lambda = 1{,}91 - 0{,}35\,\frac{16{,}45}{7{,}62} = 1{,}155.$$

По таблицам стрельбы на дальности 400 м находим $v_c=389$ м/с.
По выражению (1.4.6) получаем

$$\Delta E = 34\cdot 10^3\cdot 1{,}155\cdot 7{,}62^2\cdot 10^{-6}(1 + 1{,}8\cdot 10^{-5}\cdot 389^2) = 8{,}52 \text{ кгс}\cdot\text{м}.$$

Для сравнения по выражению (1.4.5) при $q=7{,}9\cdot 10^{-3}$ кгс имеем

$$\Delta E = 2830\cdot 7{,}9\cdot 10^{-3}\cdot 3{,}725\left(1 - \exp\left\{-12\cdot 1{,}155\,\frac{7{,}62^2\cdot 10^{-6}}{7{,}9\cdot 10^{-3}}\right\}\right) =$$

$$= 83{,}50\,(1 - e^{-0{,}102}) = 8{,}1 \text{ кгс}\cdot\text{м}.$$

Пример 1.2. Определить условия, при которых характеристика убойного действия пули равна общему запасу кинетической энергии ($\Delta E=E_c$).

Решение

Приравняв выражение (1.4.6) выражению кинетической энергии пули, получим

$$\frac{qv_c^2}{2g} = 34\cdot 10^3\,\lambda d^2(1 + 1{,}8\cdot 10^{-5}\,v_c^2),$$

откуда

$$v_c = \sqrt{\frac{66{,}7}{\frac{q}{\pi d^2} - 12}}\cdot 10^2.$$

Для винтовочной пули, например, $d=7{,}62\cdot 10^{-3}$ м, $q=9{,}6\cdot 10^{-3}$ кгс, $\lambda=1$ и $v_c=66$ м/с ($E_c=2{,}17$ кгс·м).

Пример 1.3. Определить, какое количество сухих дюймовых сосновых досок (толщиной 25,4 мм) пробьет пуля на дальности 400 м при стрельбе из автомата Калашникова (АКМ).

Решение

По таблицам стрельбы на дальности 400 м находим $v_c=389$ м/с.

В параграфе 1.7 указывалось, что для пакета сосновых досок коэффициенты $a=47{,}3\cdot 10^5$ кгс/м^2 и $b=0{,}202\cdot 10^{-5}$ с^2/м^2. Приняв $\lambda=1$, $q=7{,}9\cdot 10^{-3}$ кгс, $d=7{,}62\cdot 10^{-3}$ м, по выражению (1.7.1) получим

$$s = 0{,}151\,\frac{7{,}9\cdot 10^{-3}}{0{,}202\cdot 47{,}3\cdot 7{,}62^2\cdot 10^{-6}}\lg(1 + 0{,}202\cdot 10^{-5}\cdot 389^2) = 0{,}249 \text{ м}.$$

Зная глубину проникания пули s и толщину досок, определим их количество

$$\frac{0{,}249}{25{,}4\cdot 10^{-3}} = 9{,}8,$$

т. е. пуля пробьет 9—10 дюймовых досок.

Пример 1. 4. При стрельбе из пулемета ДШК 12,7-мм пуля Б-32, имеющая среднюю скорость на удалении 25 м от дула $v_{25}=820$ м/с, пробивает 20-мм броню под углом встречи 90° на дальности 100 м. Определить коэффициент бронепробиваемости (формула (1.7.5)).

Решение

Приняв коэффициент формы 12,7-мм пули Б-32 для закона 1943 г. $i=1{,}0$, определим баллистический коэффициент

$$c = \frac{1\cdot 12{,}7^2\cdot 10^{-6}}{48{,}5\cdot 10^{-3}}\,10^3 = 3{,}23\ \text{м}^2/\text{кгс}.$$

По таблице основных функций (см. приложение 1, табл. 1) для скорости 820,2 м/с имеем $Д(v_{25})=7080$ (поправку на 0,2 м/с не учитываем),

$$Д(v_c) = Д(v_{25}) + cX = 7080 + 3{,}23\cdot 75 = 7330.$$

По той же таблице этому соответствует $v_c=792{,}1$ м/с.
Приняв $d_c=0{,}109$ дм, $q_c=0{,}03$ кгс и $s=0{,}20$ дм, по формуле (1.7.5) имеем

$$K = v_c\,\frac{q_c^{0,5}}{d_c^{0,75}\,s^{0,7}},$$

$$\lg K = \lg v_c + 0{,}5\lg q_c - 0{,}75\lg d_c - 0{,}7\lg 0{,}2 = 3{,}34865.$$

$$K = 2234.$$

Пример 1.5. Определить, какую броню может пробить 14,5-мм пуля Б-32 на удалении 300 м при стрельбе из крупнокалиберного пулемета Владимирова (КПВ).

Решение

По основной таблице стрельбы для пулемета КПВ дальности 300 м соответствует скорость пули $v_c=821$ м/с. Для 14,5-мм пули примем $K=2234$, $d_c=10{,}9$ мм и $q_c=0{,}04$ кгс. По формуле (1.7.5) имеем

$$0{,}7\lg s = \lg v_c + 0{,}5\lg q_c - 0{,}75\lg d_c - \lg K.$$

$$\lg s = 1{,}43\lg 821 + 0{,}715\lg 0{,}04 - 1{,}07\lg 0{,}109 - 1{,}43\lg 2234 = 1{,}37897.$$

$$s = 0{,}2398\ \text{дм}.$$

Для сравнения решим этот же пример по формуле (1.7.1) Для 14,5-мм пули Б-32 имеем $d_0=14{,}5$ мм, $q=64$ гс. Приняв $\lambda=1$ и имея по опытным данным $a=362\cdot10^6$ кгс/м^2 и $b=0{,}174\cdot10^{-5}$ с^2/м^2, по формуле (1.7.1) получаем

$$s=0{,}151\,\frac{64\cdot10^{-3}}{3620\cdot0{,}174\cdot14{,}5^2\cdot10^{-6}}\lg(1+0{,}174\cdot10^{-5}\cdot821^2)=0{,}0236\text{ м}.$$

Как видим, результат получился практически такой же.

Пример 1.6. Определить, какую толщину брони может пробить бронебойно-зажигательная пуля на дальности 300 м при стрельбе из автомата АКМ.

Решение

По основной таблице стрельбы для автомата АКМ скорость обыкновенной пули на дальности 300 м $v_c=459$ м/с. Принимаем ее такой же для рассматриваемой пули, для которой $q_c=4$ гс и $d_c=6$ мм. Удельная энергия сердечника пули на дальности 300 мм

$$E_y=\frac{q_c v_c^2}{\frac{\pi}{2}gd_c^2}=\frac{4\cdot10^{-3}\cdot459^2\cdot2}{3{,}14\cdot9{,}81\cdot6^2}=1{,}52\text{ кгс}\cdot\text{м/мм}^2.$$

Приняв в формуле (1.7.6) $k=4$ мм^3/кгс·м, получим

$$s=kE_y=4\cdot1{,}52=6{,}1\text{ мм}.$$

Глава 2

БАЛЛИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПУЛЬ

2.1. ОСНОВНЫЕ БАЛЛИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПУЛЬ

К баллистическим характеристикам пуль относятся:
калибр (диаметр) пули d, мм;
вес пули q, гс;
форма пули, характеризуемая коэффициентом формы i;
баллистический коэффициент пули c, м^2/кгс.

Баллистический коэффициент является обобщающей баллистической характеристикой пули, включающей в себя другие характеристики:

$$c = \frac{id^2}{q} 1000. \qquad (2.1.1)$$

Баллистический коэффициент входит множителем в выражение ускорения силы сопротивления воздуха, поэтому в зависимости от его значения различным образом проявляется влияние сопротивления воздуха на полет пули и характер ее траектории. Чем меньше баллистический коэффициент, тем меньше тормозится пуля сопротивлением воздуха, тем меньше падает ее скорость и лучше настильность траектории.

Сочетание калибра и веса пули выражается двумя весовыми характеристиками:

поперечной нагрузкой пули

$$A = \frac{q}{n_s d^2}\ ; \qquad (2.1.2)$$

коэффициентом веса пули

$$c_q = \frac{q}{d^3}\ , \qquad (2.1.3)$$

где $n_s = 0{,}82$ — коэффициент площади поперечного сечения *.

* Это значение соответствует равенству площадей поперечного сечения ведущей части пули и канала ствола.

Между этими весовыми характеристиками существует связь, вытекающая из выражений (2.1.2) и (2.1.3),

$$A = \frac{d}{n_s} c_q.$$

При численном равенстве $d = n_s = 0{,}82$ см поперечная нагрузка пули равна коэффициенту веса. При меньших значениях калибра поперечная нагрузка меньше, а при больших — больше коэффициента веса (рис. 9).

Баллистический коэффициент пули зависит от поперечной нагрузки и не зависит от калибра

$$c = \frac{i}{n_s A} 1000.$$

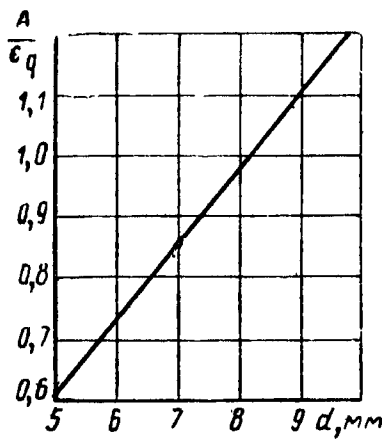


Рис. 9. Зависимость отношения поперечной нагрузки к коэффициенту веса пули от калибра

Поперечная нагрузка пули не отражает геометрического подобия, поэтому она применима для сравнительной оценки пуль только одного калибра. Коэффициент веса пули отражает геометрическое подобие и применим для сравнительной оценки одинаковых по конструкции пуль различных калибров. Его величина оказывает влияние на баллистический коэффициент в зависимости от калибра. Это видно из выражения

$$c = \frac{i}{dc_q} 1000, \qquad (2.1.4)$$

откуда следует, что для одного и того же калибра баллистический коэффициент обратно пропорционален коэффициенту веса, а для геометрически подобных пуль он обратно пропорционален калибру.

Значения коэффициента веса пуль стрелкового оружия находятся обычно в пределах 20—30 гс/см³ и могут быть ориентировочно подсчитаны по эмпирическим зависимостям М. С. Шерешевского:

для пуль со стальным сердечником

$$c_q = 7{,}25 \frac{l_п}{d}\left(1 - 0{,}5 \frac{h}{l_п}\right);$$

для пуль со свинцовым сердечником

$$c_q = 8{,}40 \frac{l_п}{d}\left(1 - 0{,}5 \frac{h}{l_п}\right),$$

где $l_п$ — длина пули;

h — длина головной части пули.

Точные значения коэффициента веса определяются при точном определении веса пули данной конструкции.

2.2. НАРУЖНОЕ ОЧЕРТАНИЕ ПУЛЬ

Форма пуль должна в первую очередь обеспечивать уменьшение сопротивления воздуха и максимальную настильность траектории. Исключение составляют пистолетные пули, форма которых выбирается исходя из требования обеспечения высокого убойного (останавливающего) действия. Это исключение обусловлено небольшими начальными скоростями и дальностями стрельбы из пистолетов, когда баллистические свойства пули не имеют существенного значения. Современные пули представляют собой тела вращения (рис. 10), состоящие из головной части длиной h, ведущей части длиной H и хвостовой части длиной $h_х$.

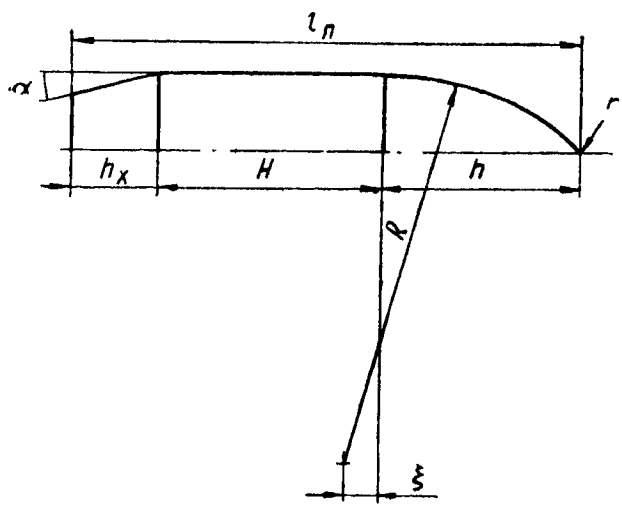


Рис. 10. Внешнее очертание пули

Форма головной части пули образуется вращением дуги окружности некоторого радиуса R вокруг продольной оси пули. Центр этой окружности находится обычно в плоскости основания головной части или смещен от нее на некоторую величину ξ назад. Длина головной части существующих пуль (за исключением пистолетных) определяется выражением $h = (2{,}0 \div 3{,}5)d$ и берется тем больше, чем меньше вес и больше начальная скорость пули.

Величина радиуса образующей головной части $R = (7 \div 11)d$.

Смещение центра образующей головной части от ее основания ξ может достигать значительных величин. При заданном весе (или заданной длине) пули с увеличением этого смещения уменьшается длина головной части и увеличивается длина ведущей части. Этим удается в значительной степени влиять на характер траектории

и получать сопряжение траекторий различных пуль, а также воздействовать на условия ведения пули по нарезам и на прочность оболочки пули при выстреле. Вершинка головной части пули имеет обычно форму полусферы с радиусом $r=0{,}075\,d$, что обусловлено технологическими соображениями *.

Соотношение размеров головной части можно установить, пользуясь рис. 11:

$$\left(R-\frac{d_п}{2}-\Delta R\right)^2+(h+\xi-r)^2=(R-r)^2,$$

где $d_п$ — диаметр пули.

Но

$$(R-\Delta R)^2+\xi^2=R^2,$$

откуда

$$\Delta R=R-\sqrt{R^2-\xi^2}.$$

Подставив последнее равенство в первое, получим

$$\left(\sqrt{R^2-\xi^2}-\frac{d_п}{2}\right)^2+(h+\xi-r)^2=(R-r)^2.$$

Для случая $\xi=0$ имеем

$$\left(R-\frac{d_п}{2}\right)^2+(h-r)^2=(R-r)^2.$$

С достаточной для практики точностью при расчетах можно принять $r=0$, тогда

$$\left(R-\frac{d_п}{2}\right)^2+h^2=R^2.$$

Приняв диаметр пули, равным калибру ($d_п=d$), и произведя элементарные преобразования, получим

$$\frac{R}{d}=\left(\frac{h}{d}\right)^2+\frac{1}{4},$$

эта зависимость представлена на рис. 12.

Размеры ведущей части пули принимаются исходя из условий надежного ведения пули по нарезам, обеспечения обтюрации пороховых газов и прочности оболочки. При чрезмерном уменьшении

---

* При штамповке головная часть оболочки загоняется в матрицу. Чтобы вытолкнуть ее из матрицы, в последней делается осевое отверстие, против которого оболочка не обжимается и получается закругление.

длины ведущей части пули хуже направляется при движении по каналу ствола, и в начале полета пули в воздухе ось ее значительно отклонена от касательной к траектории, что ухудшает кучность стрельбы. При этом увеличивается удельное давление оболочки на боевые грани нарезов, в результате чего пуля может срываться с нарезов и терять устойчивость при полете в воздухе.

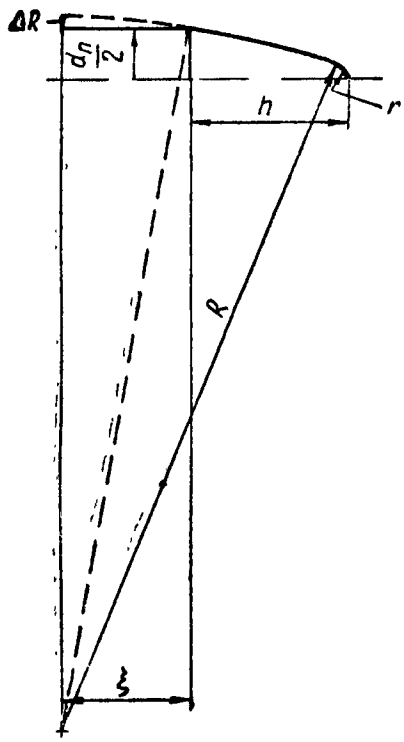


Рис. 11. Очертание головной части пули

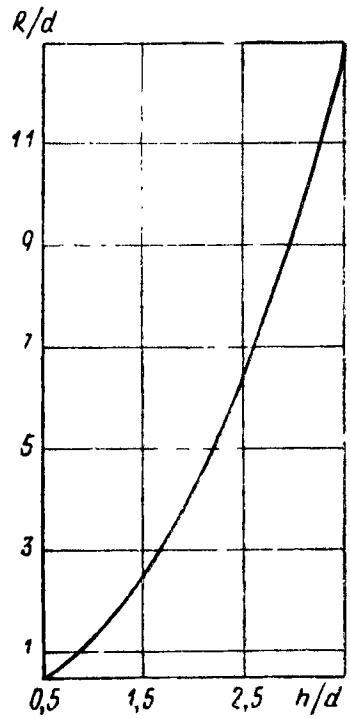


Рис. 12. Изменение радиуса очертания в зависимости от длины головной части пули

При чрезмерном увеличении длины ведущей части увеличивается трение оболочки о поверхность канала, износ ствола и осевые напряжения в оболочке, в результате чего может наступить разрушение (демонтаж) пули еще при движении ее по каналу ствола. Длина ведущей части у существующих пуль находится обычно в пределах $H = (1{,}0 \div 1{,}5)d$.

Практикой установлено, что для надежной обтюрации пороховых газов и надежного ведения пули по нарезам без срыва площадь поперечного сечения ведущей части пули $s_п$ должна быть на 1—2% больше площади поперечного сечения канала ствола, т. е.

$$s_п = (1{,}01 \div 1{,}02)s.$$

Учитывая, что $s=0{,}82d^2$, а $s_п=\frac{\pi d^2_п}{4}$, получаем соотношение диаметра пули $d_п$ и калибра оружия d:

$$d_п=(1{,}02\div 1{,}04)\,d.$$

Необходимый избыток площади поперечного сечения пули по сравнению с площадью поперечного сечения канала ствола (форсирование) получается, если взять диаметр пули равным диаметру канала ствола по нарезам $d_н$, т. е.

$$d_п=d_н.$$

Это соотношение близко к существующему на практике.

Форма хвостовой части пули оказывает влияние на сопротивление воздуха при небольших (дозвуковых) скоростях полета, что может иметь место для части траектории при стрельбе на большие дальности. В этих условиях хвостовая часть пули оформляется в виде усеченного конуса с углом наклона образующей порядка $\alpha_х=6\div 9°$. Длина хвостовой части существующих пуль обычно находится в пределах $h_х=(0{,}5\div 1{,}0)\,d$.

У пуль, имеющих сравнительно большие начальные скорости полета и предназначаемых для стрельбы на небольшие дальности, в пределах которых скорость их не ниже скорости распространения звука (340 м/с), форма хвостовой части не имеет практического значения и делается обычно цилиндрической. Наличие в ряде случаев конической хвостовой части у подобных пуль вызывается необходимостью уменьшить длину ведущей части.

Общая длина пули определяется ее весом, ограничивается условиями обеспечения устойчивости ее в полете и обычно $l_п\leqslant 5{,}5\,d$.

2.3. КОЭФФИЦИЕНТ ФОРМЫ ПУЛИ

Коэффициент формы пули входит в выражение для баллистического коэффициента (2.1.1) и характеризует влияние формы пули на сопротивление воздуха. Баллистический коэффициент прямо пропорционален коэффициенту формы.

Коэффициент формы есть отношение значения функции сопротивления воздуха для данной пули к значению функции принятого закона сопротивления. Поэтому численные значения коэффициента формы зависят от выбранного закона сопротивления воздуха. Например, современные пули имеют коэффициент формы 0,5—0,6 по отношению к закону Сиаччи и 0,9—1,1 по отношению к закону 1943 г.

Сопротивление воздуха является функцией скорости пули, поэтому и коэффициент формы зависит от скорости. Применяя пулю одной и той же формы в различных диапазонах скоростей, можно получить некоторое расхождение в численных значениях коэффициента формы. По этой же причине коэффициент формы при одной

и той же начальной скорости пули меняется с изменением дальности стрельбы, так как при этом меняется скорость пули вдоль траектории.

Для существующих пуль коэффициент формы или баллистический коэффициент можно определить по таблицам стрельбы. Имея данные о скорости пуль, можно определить по таблицам внешней баллистики значения основной функции $Д(v)$.

Пользуясь выражением (1.5.1), можно определить значения баллистического коэффициента, соответствующие различным значениям дальности или скорости. При расчете значений c как функции дальности X следует брать скорость пули v_c на принятой дальности и начальную скорость v_0, а при расчете c как функции скорости следует брать среднее значение скорости пули на концах рассматриваемого отрезка дальности, например, 100 м.

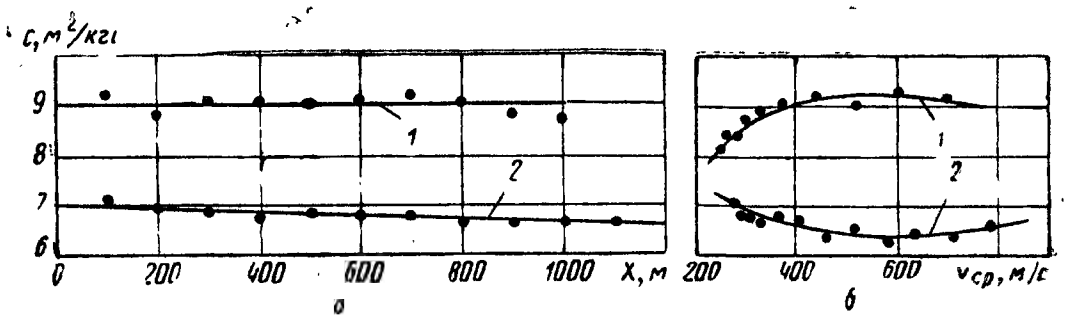


Рис. 13. Зависимость баллистического коэффициента от дальности (а) и от скорости пули (б):
1 — при стрельбе из пулемета РПК; *2* — при стрельбе из пулемета ПК

В качестве примера на рис. 13 приведены значения баллистического коэффициента пуль в зависимости от дальности по таблицам стрельбы из пулеметов РПК и ПК применительно к закону сопротивления 1943 г. Аналогичным образом меняются и значения коэффициента формы пули, так как они пропорциональны значениям баллистического коэффициента.

Для проектируемых пуль необходимо знать зависимость коэффициента формы от размеров, характеризующих форму пули, скорости пули и дальности. В этих целях может быть использована формула, предложенная А. Д. Чернозубовым для закона Сиаччи:

$$i = \frac{0{,}3}{\sqrt{0{,}5+d}}\left(1{,}23 - 0{,}15\frac{d}{d_x}\right) + \frac{h_1}{1+4h_1^2}\,\frac{12850+K}{4200} - \frac{500}{1200+v_0}\left[1-\left(\frac{d_x}{d}\right)^2\right], \qquad (2.3.1)$$

где d — калибр оружия, см;
d_x — диаметр хвостовой части пули;
h_1 — длина головной части пули в калибрах;
K — коэффициент, зависящий от дальности,

$$K = X \text{ при } X \leqslant 1800\left(\frac{d}{0{,}762}\right)^2,$$

$$K = 1800\left(\frac{d}{0{,}762}\right)^2 \text{ при } X > 1800\left(\frac{d}{0{,}762}\right)^2.$$

Для сверхзвуковых скоростей полета пули коэффициент формы пули применительно к закону Сиаччи можно определить также по эмпирической зависимости

$$i = 1{,}1 - 0{,}343\frac{h}{d} + 0{,}042\left(\frac{h}{d}\right)^2, \qquad (2.3.2)$$

изображенной на рис. 14.

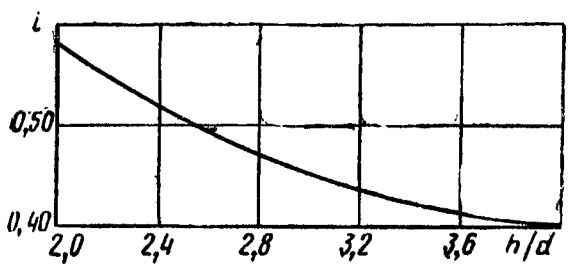


Рис. 14. Зависимость коэффициента формы (для закона Сиаччи) от длины головной части пули

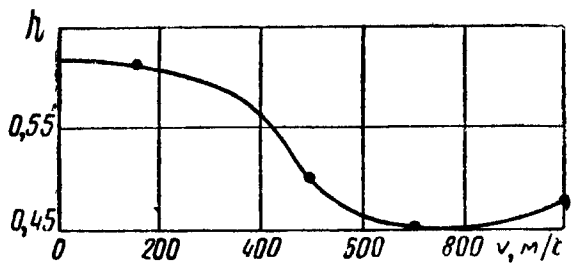


Рис. 15. Влияние скорости пули на величину переходного множителя от закона 1943 г. к закону Сиаччи

При необходимости можно перейти от закона Сиаччи к закону 1943 г., и наоборот, пользуясь переходным множителем n:

$$i_{\text{Сиаччи}} = n i_{1943}.$$

Зависимость переходного множителя от скорости пули, выведенная Я. М. Шапиро, показана на рис. 15. При усреднении коэффициента формы можно пользоваться значением переходного множителя около 0,48—0,53.

Эмпирическую формулу для коэффициента формы пули по закону 1943 г. предложил М. С. Шерешевский в следующем виде:

$$i = 0{,}535\left[2 + \cos(5\alpha_x + 135°)\right]\left(1 - \frac{q_т}{t_т s_э}\,\frac{1 + 0{,}5M}{1 + M}\right)\left(\frac{1 + 0{,}5M}{1 + M}\right) +$$

$$+\frac{9{,}0}{\frac{h}{d}+\frac{R}{d}}\left(\frac{M}{1+M^2}\right)^2+0{,}0111\sqrt{1+4\left(\frac{h}{d}\right)^2}+0{,}11\left(\frac{l_п}{d}-\frac{h}{d}\right)-$$

$$-0{,}03\,\frac{h_х}{d}\,\frac{l_п}{d}\,, \qquad (2.3.3)$$

где $M=\frac{v}{a}$ — число Маха;

v — скорость пули на траектории, м/с;

$a=340$ м/с — скорость звука в воздухе;

$\alpha_х$ — угол наклона хвостовой части, угл. град.;

$q_т$ — вес трассирующего состава, гс;

$t_т$ — время трассирования, с;

$s_э$ — эффективная площадь хвостового среза трассирующей пули, см^2.

При наличии конуса хвостовой части

$$s_э=\frac{\pi d^2}{4}\left(1-2\,\frac{h_х}{d}\,\mathrm{tg}\,\alpha_х\right)^2,$$

а при отсутствии конуса

$$s_э=0{,}84\,\frac{\pi d^2}{4}\,.$$

Если пуля без трассера, то множитель $\frac{q_т}{t_т s_э}=0$.

Для определения коэффициента формы рекомендуется использовать метод последовательных приближений: для заданной дальности X принимается $i_0=1$, определяется по основным функциям $Д(v)$ скорость v_{c1}, определяется M_1 и по формуле (2.3.3) первое значение i. Затем по i_1 таким же образом определяются другие значения v_{c2}, M_2, i_2 и т. д.

Если смежные значения коэффициента разнятся не более чем на 5%, т. е.

$$\frac{|i_п-i_{n-1}|}{i_п}\,100\leqslant 5, \qquad (2.3.4)$$

то сближение считается законченным, а коэффициент формы определенным.

2.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА СИЛЫ ЛОБОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПУЛИ

Выражение силы лобового сопротивления пули или снаряда принимается обычно в виде

$$R_x=\frac{\rho v^2}{2}\,sc_x\left(\frac{v}{a}\right), \qquad (2.4.1)$$

где $c_x\left(\frac{v}{a}\right)$ — аэродинамический коэффициент силы лобового сопротивления, широко используемый в баллистических расчетах и определяемый опытным путем.

Определив по схеме (рис. 16) скорости пули в двух точках траектории v_1 и v_2, по теореме живых сил можно получить среднюю силу лобового сопротивления в середине между этими точками

$$R_{x\,\text{ср}} = \frac{q}{2gl}\,(v_1^2 - v_2^2) \qquad (2.4.2)$$

и по выражению (2.4.1) определить для среднего значения силы значение коэффициента

$$c_x\left(\frac{v_{\text{ср}}}{a}\right) = \frac{2R_{x\text{ср}}}{\rho v_{\text{ср}}^2 s}\,.$$

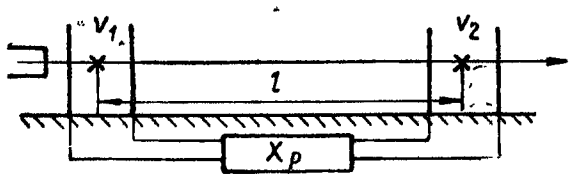


Рис. 16. Схема определения скорости пули в двух точках траектории

С учетом $v_{\text{ср}} = \frac{v_1 + v_2}{2}$, $\rho = \frac{\Pi_0}{g}$, $s = n_s d^2$ и выражения (2.4.2) окончательно получим

$$c_x\left(\frac{v_{\text{ср}}}{a}\right) = \frac{4q}{n_s d^2 l \Pi_0}\,\frac{v_1 - v_2}{v_1 + v_2}\,, \qquad (2.4.3)$$

где Π_0 — весовая плотность воздуха.

2.5. БАЛЛИСТИЧЕСКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ

Баллистический коэффициент, представленный выражением (2.1.1), входит множителем в дифференциальное уравнение поступательного движения пули (снаряда)

$$\frac{dv}{dt} = -cH(y)\,F_3(v, a) - q\sin\theta, \qquad (2.5.1)$$

где $H(y)$ — функция относительной плотности воздуха;
θ — угол наклона касательной к траектории.

В выражение (2.5.1) входит функция сопротивления воздуха

$$F_3(v, a) = 4{,}74 \cdot 10^{-4} v^2 c_x \left(\frac{v}{a}\right).$$

Баллистический коэффициент можно определить по значению коэффициента формы пули (выражение (2.1.1)), по таблицам основных функций (выражение (1.5.1)) и по значению коэффициента силы лобового сопротивления (выражение (2.4.3)) с помощью уравнения (2.5.1).

При горизонтальном положении оружия во время стрельбы и небольших углах бросания можно считать $H(y)=1$ и $q \sin\theta = 0$. Поэтому выражение (2.5.1) принимает вид

$$\frac{dv}{dt} = -c \cdot 4{,}74 \cdot 10^{-4} v^2 c_x \left(\frac{v}{a}\right).$$

Это выражение с учетом того, что $\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dt}\frac{dx}{dx} = \frac{dv}{dx} v$, можно записать в другом виде

$$\frac{dv}{v^2} = -c \cdot 4{,}74 \cdot 10^{-4} c_x \left(\frac{v}{a}\right) dx.$$

После интегрирования в пределах скорости от v_1 до v_2 и расстояния между блокирующими устройствами (см. рис. 16) от 0 до l получим

$$\ln \frac{v_1}{v_2} = c \cdot 4{,}74 \cdot 10^{-4} c_x \left(\frac{v}{a}\right) l,$$

откуда можно получить

$$c = \frac{4858 \lg \frac{v_1}{v_2}}{c_x \left(\frac{v_{ср}}{a}\right) l},$$

где v_1, v_2 — скорости пули в центрах блокирующих участков;

l — расстояние между центрами блокирующих участков.

При необходимости определения баллистического коэффициента пули на всей траектории ее полета последняя разбивается на участки не более 200 м. На границах участков поочередно ставятся соленоидные датчики и контактная бронеплита.

Если требуется определить значение баллистического коэффициента, соответствующее нормальным условиям стрельбы, то перед стрельбой определяются наземные метеорологические условия — атмосферное давление, температура воздуха, скорость и направление ветра. Делается один прогревной выстрел. Стрельба ведется с замером времени полета пули при каждом выстреле на базе 10 м (t_{10}) хронометром *Хр1* и на базе *Х* хронометром *Хр2* до получения десяти зачетных выстрелов (рис. 17).

Для каждого выстрела по замеренным значениям времени полета пули определяются средние значения скорости на измеряемых промежутках:

$$v_{10} = \frac{10}{t_{10}} \text{ и } v_x = \frac{X}{t_x},$$

а также средние значения по группе выстрелов:

$$v_{10\,ср} = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n} v_{10\,i} \text{ и } v_{x\,ср}\frac{1}{n}\sum_{1}^{n} v_{x\,i},$$

где $x = \frac{X}{2} + 10$.

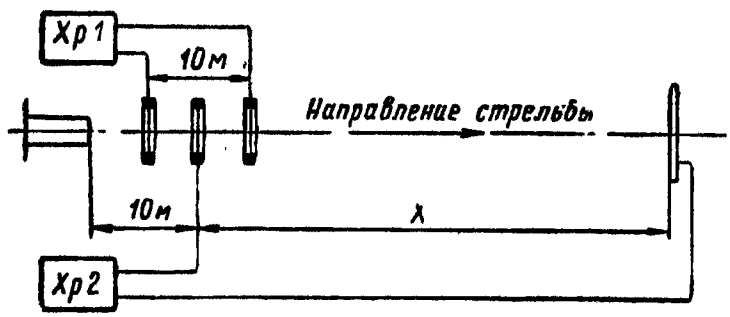


Рис. 17. Схема определения средних скоростей пули на двух участках траектории

Фактическое значение баллистического коэффициента определяется с помощью таблиц основной функции

$$c_ф = \frac{Д(v_{x\,ср}) - Д(v_{10\,ср})}{X}$$

или по специальным таблицам, рассчитанным на их основе.

При необходимости полученное значение баллистического коэффициента можно привести к нормальным метеорологическим условиям путем введения поправок к значениям скорости и дальности:

$$v_{10\,ср\,пр} = (v_{10\,ср} \pm W_x)\sqrt{\frac{\tau_{0N}}{\tau_0}};$$

$$v_{x\,ср\,пр} = (v_{x\,ср} \pm W_x)\sqrt{\frac{\tau_{0N}}{\tau_0}};$$

$$X_{пр} = (X \pm W_x t_x)\frac{\tau_{0N}}{\tau_0},$$

где W_x — проекция скорости ветра на направление стрельбы;

τ_{0N} — виртуальная температура воздуха, соответствующая нормальным условиям стрельбы (288,0° К);

τ_0 — фактическая виртуальная температура воздуха.

С учетом этих поправок имеем

$$c = \frac{Д(v_{x\ \text{ср пр}}) - Д(v_{10\ \text{ср пр}})}{X}.$$

При отсутствии ветра можно воспользоваться зависимостями

$$c = \frac{П_{0N}}{П_0} c_ф \quad \text{или} \quad c = \frac{h_{0N}}{h_0} \frac{\tau_0}{\tau_{0N}} c_ф,$$

где $П_0$, $П_{0N}$ — фактическая и нормальная весовая плотность воздуха;

h_0, h_{0N} — фактическое и нормальное атмосферное давление.

2.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАЛЬНОСТИ ПРЯМОГО ВЫСТРЕЛА

Баллистическим совершенством пули в сочетании с начальной скоростью ее определяется настильность траектории, характеризуемая дальностью прямого выстрела. Это та дальность, при стрельбе на которую максимальная высота траектории равна высоте заданной цели. На всех дальностях в пределах дальности прямого выстрела траектория не превышает высоты цели. Поэтому с одной установкой прицела, соответствующей дальности прямого выстрела, можно поражать данную цель на любой меньшей дальности.

Чем больше дальность прямого выстрела, тем меньше влияние ошибок в определении расстояния до цели (в установке прицела) на эффективность ее поражения. Требуется меньше выносить точку прицеливания при стрельбе по движущимся целям, поскольку время полета пули до цели меньше. В результате этого меньше влияют на результаты стрельбы ошибки в определении упрежденной точки и боковой ветер. Вот почему настильности траекторий придается большое значение.

Дальность прямого выстрела можно быстро определить следующим способом. Время свободного падения пули с высоты Y определяется зависимостью

$$t = \sqrt{\frac{2Y}{g}}.$$

Время подъема пули на высоту Y и падения ее с этой высоты составляет полетное время

$$T = 2t = 2\sqrt{\frac{2Y}{g}}.$$

Горизонтальная дальность полета пули за это время

$$X = v_{ср}T,$$

а средняя скорость полета пули

$$v_{ср} = \frac{1}{2}(v_0 + v_c),$$

где v_0, v_c — начальная и конечная скорости.

Тогда

$$X = (v_0 + v_c)\sqrt{\frac{2Y}{g}}.$$

Обозначив высоту цели $H_ц = Y$, дальность прямого выстрела по этой цели $Д = X$ и введя коэффициент на нелинейность скорости пули 0,975, окончательно получим

$$Д = 0{,}441\sqrt{H_ц}(v_0 + v_c). \qquad (2.6.1)$$

Для высоты цели, например, $H_ц = 0{,}5$ м

$$Д = 0{,}312(v_0 + v_c). \qquad (2.6.2)$$

Для решения задачи определения дальности прямого выстрела необходимо:

задаться значением $Д_1$;

определить по формуле (1.7.1) значение основной функции $Д(v_{c1})$ и по табл. 1 (см. приложение 1) найти значение v_{c1};

определить по формуле (2.6.1) новое значение дальности прямого выстрела $Д_2$.

Таким же способом определить значения v_{c2} и $Д_3$ и т. д. до необходимого сближения смежных значений $Д$.

Существуют другие способы определения дальности прямого выстрела, но они или менее точные, или более сложные и здесь не приводятся.

2.7. ОПЫТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАЛЬНОСТИ ПРЯМОГО ВЫСТРЕЛА

На этапах научно-исследовательской или опытно-конструкторской работы по созданию нового патрона возникает необходимость опытного определения дальности прямого выстрела в условиях тира или полигона. Эта работа может быть выполнена следующим порядком.

Выбирают относительно ровный горизонтальный участок местности протяженностью несколько больше, чем ожидаемая даль-

ность прямого выстрела. На этом участке на ожидаемой дальности прямого выстрела, округленной до очередной сотни метров в большую сторону, устанавливают щит с четко нанесенной точкой прицеливания на уровне расположения оружия. Оружие с установкой прицела, соответствующей дальности расположения щита, приводят к нормальному бою так, чтобы средняя точка попадания находилась на уровне точки прицеливания.

Все расстояние до щита делят рубежами на участки по 50 м. Каждый рубеж обозначают отметкой, соответствующей дальности до щита. С любого рубежа производят стрельбу с тем же прицелом и с той же точкой прицеливания. После каждой стрельбы определяют среднюю точку попадания и ее превышение над точкой прицеливания.

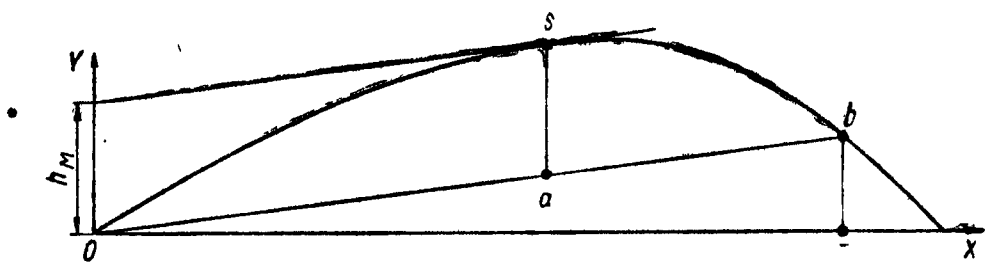


Рис. 18. Опытное определение дальности прямого выстрела

Полученные данные заносят в таблицу и по ним строят точки траектории (рис. 18) при таких масштабах осей, чтобы траектория получилась достаточно изогнутой. По полученным точкам с помощью лекала проводят плавную линию (траекторию). Затем определяют вершину траектории (s), из нее вертикально вниз откладывают высоту мишени ($h_м$) в масштабе оси Y. Через полученную точку a проводят прямую $0b$. Проекция точки b на ось X и есть дальность $Д$ прямого выстрела по мишени высотой $h_м$.

Учитывая, что дальности и превышения траектории откладывают на графике в разных масштабах, а сами траектории пуль стрелкового оружия являются настильными, при определении дальности прямого выстрела указанным способом не применим принцип жесткости траектории. Это значит, что нельзя откладывать высоту мишени $h_м$ под углом к оси Y и определять дальность прямого выстрела как отрезок $0b$, так как это приводит к ошибке, вызванной разностью масштабов.

Этим графическим методом можно пользоваться, имея заданную траекторию (превышения траектории, приведенные в таблицах стрельбы).

2.8. СОПРЯЖЕНИЕ ТРАЕКТОРИЙ ПУЛЬ

При проектировании нового патрона с двумя типами пуль и более, а также при проектировании новых пуль к существующему патрону возникает задача о сопряжении траекторий пуль различных типов. Это вызывается необходимостью иметь одну шкалу прицела для стрельбы различными пулями и одни таблицы стрельбы и поправок на влияние условий стрельбы (ветра, температуры, плотности воздуха и т. п.). При решении такой задачи одной из пуль отдается предпочтение. Такую пулю называют основной пулей. Другую пулю, траектория которой подлежит сопряжению с траекторией основной пули, называют сопрягаемой пулей.

Получить одинаковые траектории различных пуль во времени и в пространстве в принципе нельзя. Речь идет о максимальном приближении траектории сопрягаемой пули к траектории основной пули по крайней мере на дальностях применения данного вида оружия. Для каждого вида оружия допускается некоторое расхождение углов прицеливания и полетного времени при стрельбе основной пулей и другими пулями в зависимости от предъявляемых к нему требований. Обычно это расхождение ограничивается 1/3 деления прицела или 1—1,5 тысячных дальности в угловых единицах без ограничений полетного времени.

Влиять на характер траектории пули можно изменением ее веса, начальной скорости, формы и размеров. При таком же максимальном давлении пороховых газов, что и при стрельбе основной пулей, сопрягаемая пуля заданного веса будет иметь определенную начальную скорость. Изменять эту скорость, не меняя веса пули, нежелательно, так как для этого необходимо было бы изменять максимальное давление газов.

Увеличение давления с целью увеличения скорости обычно не допускается исходя из условий обеспечения надежности работы оружия и живучести ствола, а уменьшение скорости пули нежелательно из-за уменьшения эффективности использования объема камеры заряжания и действия пули по целям. Поэтому при сопряжении траекторий приходится варьировать в первую очередь форму, размеры и вес сопрягаемой пули.

При указанных ранее условиях траектории двух пуль можно считать сопряженными, если при одинаковых углах бросания θ_0 получаются одинаковые дальности X. Для основной пули связь величин θ_0 и X известна, поэтому ее можно использовать для отыскания необходимых значений баллистического коэффициента и коэффициента формы сопрягаемой пули, воспользовавшись вспомогательными функциями (см. приложение I, табл. 2):

$$f_0 = c \sin 2\theta_0; \tag{2.8.1}$$

$$f_1 = \frac{v_0^2 \sin 2\theta_0}{X}. \tag{2.8.2}$$

Введем для сопрягаемой пули индекс 1. Тогда для одинаковых углов бросания и дальностей получим

$$f_{11} = f_1 \left(\frac{v_{01}}{v_0}\right)^2 . \qquad (2.8.3)$$

Имея значения f_{11} и v_{01}, по таблице функций f_1 находим значение $[c_1X]$, а приняв во внимание характерную дальность, получим значения баллистического коэффициента и коэффициента формы пули:

$$c_1 = \frac{[c_1X]}{X}, \qquad i_1 = \frac{c_1 q}{d^2}\, 10^{-3},$$

по которому можно определить длину головной части пули.

Теперь задача сводится к тому, чтобы проверить, насколько при тех же углах бросания дальности полета сопрягаемой пули отклоняются от дальностей полета основной пули. Учитывая, что речь идет о прикидочных расчетах, что сопряжение траекторий проверяется экспериментально, эту задачу можно решить, приняв баллистический коэффициент одним значением для всех рассматриваемых дальностей.

Пользуясь значениями углов бросания и дальностей для основной пули, можно определить значения функции f_{01} для сопрягаемой пули, а по значениям f_{01} и v_{01} найти в таблице функции f_0 значения $[c_1X_1]$ и соответствующие значения X_1. По расхождению полученных значений X_1 и контрольных дальностей и можно судить о степени сопряжения траекторий в пространстве. Это расхождение допускается обычно не более 1/3 деления прицела.

Сопряжение траекторий по углу θ_0 производится по функции f_0. Для основной пули по таблице имеем v_0, c, X и $c \sin 2\theta_0$, т. е. θ_0. Для сопрягаемой пули имеем v_{01}, c_1, X и θ_{01}. При необходимости сблизить θ_{01} и θ_0 изменяем c_1 так, чтобы получить приемлемое θ_{01} (метод подбора). Тогда по полученному значению c_1 определяется i_1.

ПРИМЕРЫ

Пример 2.1. Определить баллистический коэффициент пули, если калибр $d=7{,}62$ мм, вес пули $q=9{,}6$ гс, длина головной части ее $h=18{,}6$ мм

Решение

По выражению (2.3.2) находим

$$i = 1{,}1 - 0{,}343 \cdot \frac{18{,}6}{7{,}62} + 0{,}042 \left(\frac{18{,}6}{7{,}62}\right)^2 = 0{,}514 \text{ (по Сиаччи)}.$$

По выражению (2.1.1) находим

$$c = \frac{0{,}514 \cdot 7{,}62^2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3}{9{,}6 \cdot 10^{-3}} = 3{,}11 \text{ м}^2/\text{кгс (по Сиаччи)}$$

или

$$c = \frac{3{,}11}{0{,}50} = 6{,}22 \text{ м}^2/\text{кгс (по закону 1943 г.)}.$$

Пример 2.2. Определить баллистический коэффициент пули калибра 5,6 мм, геометрически подобной пуле, приведенной в примере 2.1.

Решение

По выражению (2.1.3) для заданной пули имеем

$$c_q = \frac{9{,}6}{0{,}762^3} = 21{,}7 \text{ гс/см}^3.$$

По этому же выражению для геометрически подобной пули находим

$$q = c_q d^3 = 21{,}7 \cdot 0{,}56^3 = 3{,}81 \text{ гс}.$$

Из примера 2.1 берем $i=0{,}514$ (по Сиаччи) и по выражению (2.1.1) получаем

$$c = \frac{0{,}514 \cdot 5{,}6^2 \cdot 10^{-6}}{3{,}81 \cdot 10^{-3}} \cdot 10^3 = 4{,}23 \text{ м}^2/\text{кгс (по Сиаччи)}$$

или

$$c = \frac{4{,}23}{0{,}50} = 8{,}46 \text{ м}^2/\text{кгс (по закону 1943 г.)}$$

Задачу можно решить проще по выражению (2.1.4). Для этого полученные ранее значения баллистического коэффициента достаточно умножить на отношение $\frac{7{,}62}{5{,}6}$, получится тот же результат.

Пример 2.3. Определить среднее значение баллистического коэффициента пули на дальности 500 м, если начальная скорость пули $v_0=840$ м/с, а конечная $v_c=481$ м/с.

Решение

По таблицам внешней баллистики (см. приложение 1, табл. 1) основные функции $Д(v_0)=6906$ и $Д(v_c)=10513$.

По выражению (1.5.1) имеем

$$c = \frac{10513 - 6906}{500} = 7{,}214 \text{ м}^2/\text{кгс (по закону 1943 г.)}$$

или

$$c = 0{,}5 \cdot 7{,}214 = 3{,}603 \text{ м}^2/\text{кгс (по Сиаччи)}.$$

Пример 2. 4. Определить значение баллистического коэффициента 7,62-мм винтовочной пули, соответствующее скорости пули 500 м/с.

Решение

По таблицам стрельбы для пулемета ДПМ скорость пули 500 м/с соответствует участку дальности 400—500 м, причем на дальности 400 м $v_{c\,1}=539$ м/с и на 500 м $v_{c\,2}=481$ м/с, $v_{ср}=510$ м/с.

По таблицам основных функций (см. приложение 1, табл. 1) находим $Д(v_{c1})=9849$ и $Д(v_{c2})=10513$.

Баллистический коэффициент пули по выражению (1.5.1)

$$c=\frac{10513-9849}{100}=6{,}64 \text{ м}^2/\text{кгс} \text{ (по закону 1943 г.)}$$

или

$$c=0{,}5\cdot 6{,}64=3{,}32 \text{ м}^2/\text{кгс (по Сиаччи)}.$$

Пример 2.5. Определить коэффициент формы 7,62-мм винтовочной пули, соответствующий дальности 500 м при начальной скорости 840 м/с.

Решение

Учитывая, что $d_x=5{,}92$ мм и $K=X=500$, по выражению (2.3.1) имеем

$$i=\frac{0{,}3}{\sqrt{0{,}5+0{,}762}}\left(1{,}23-0{,}15\frac{7{,}62}{5{,}92}\right)+\frac{2{,}44}{1+4\cdot 2{,}44^2}\times$$

$$\times\frac{12850+500}{4200}-\frac{500}{1200+840}\left[1-\left(\frac{5{,}92}{7{,}62}\right)^2\right]=0{,}491 \quad \text{(по Сиаччи)}.$$

В примере 2.1 было получено несколько большее значение (0,514).

Пример 2. 6. Определить коэффициент формы 12,7-мм пули Б-32 на дальности 500 м по формуле М. С. Шерешевского при следующих данных: $\alpha_x=8°$; $h=33{,}3$ мм; $R=108$ мм; $l_п=64{,}6$ мм; $h_x=11$ мм; $q=49{,}5$ гс; $v_0=860$ м/с.

Решение

Определим дополнительные величины:

$$\frac{h}{d}=2{,}62; \quad \frac{R}{d}=8{,}5; \quad \frac{l_п}{d}=5{,}08; \quad \frac{h_x}{d}=0{,}865;$$

$$\cos(5\alpha_x+135°)=\cos 175°=-\cos 5°=-0{,}9962.$$

Задавшись $i=i_0=1$, определим в первом приближении скорость пули v_{c1} и число Маха M_1:

$$Д(v_{c1})=i_0\frac{d^2}{q}10^3X+Д(v_0)=\frac{12{,}7^2\cdot 10^{-6}}{49{,}5\cdot 10^{-3}}10^3\cdot 500+$$

$$+Д(860)=3{,}26\cdot 500+6734=8364,$$

по таблице $Д(v)$ (см. приложение 1, табл. 1) находим

$$v_{c1}=681{,}7 \text{ м/с}, \quad M_1=2{,}01.$$

По формуле (2.3.3) определим

$$i_1=0{,}535(2-0{,}9962)\cdot\frac{1+0{,}5\cdot 2{,}01}{1+2{,}01}+\frac{9{,}0}{2{,}62+8{,}5}\left(\frac{2{,}01}{1+2{,}01^2}\right)^2+$$

$$+0{,}0111\sqrt{1+4\cdot 2{,}62^2}+0{,}11(5{,}08-2{,}62)-0{,}03\cdot 0{,}865\cdot 5{,}08=0{,}78.$$

Уточняем скорость v_c:

$$Д(v_{c2}) = 0{,}78 \cdot 3{,}26 \cdot 500 + 6734 = 8004,$$

по таблице функции $Д(v)$ (см. приложение 1, табл. 1) находим

$$v_{c2} = 719{,}2 \text{ м/с}, \quad M_2 = 2{,}11.$$

По формуле (2.3.3) определяем новое значение i_2, откорректировав первые два слагаемые, содержащие M. Получается $i_2 = 0{,}67$. Следующее сближение $i_2 = 0{,}63$, что и удовлетворяет выражению (2.3.4).

Пример 2.7. Определить дальность прямого выстрела для АКМ.

Решение

Задаемся ожидаемой дальностью прямого выстрела 400 м. Для этой дальности $v_{c1} = 389$ м/с, $v_0 = 715$ м/с.

По выражению (2.6.2) определяем в первом приближении $Д = 0{,}312(715 + 389) = 354$ м, значение, отличное на 1,13% от действительного (450 м).

Пример 2.8. Произвести сопряжение траектории 7,62-мм пули весом $q_1 = 7{,}5$ гс, имеющей начальную скорость $v_{01} = 730$ м/с, с траекторией пули обр. 1943 г., имеющей вес $q = 7{,}9$ гс и начальную скорость $v_0 = 710$ м/с, на дальностях до 600 м. Допускаемое расхождение траекторий не более 1/3 деления прицела.

Решение

В качестве характерной дальности примем 400 м, а в качестве контрольных дальностей — 200 и 600 м.

Для основной пули по таблицам стрельбы для автомата АК дальности 400 м соответствует конечная скорость пули $v_c = 389$ м/с. Для этой скорости определим баллистический коэффициент, пользуясь таблицами основных функций (см. приложение 1, табл. 1),

$$c = \frac{1}{X}\left[Д(v_c) - Д(v_0)\right] = \frac{1}{400}(11090 - 8090) = 7{,}5 \text{ м}^2/\text{кгс}.$$

Определяем значение вспомогательной функции f_1 для основной пули и характерной дальности, пользуясь значениями $cX = 7{,}5 \cdot 400 = 3000$, $v_0 = 710$ м/с и таблицами этой функции (см. приложение 1, табл. 2). Получаем $f_1 = 13{,}75$.

Определяем значение функции f_1 для сопрягаемой пули, пользуясь выражением (2.8.3),

$$f_{11} = 13{,}75\left(\frac{730}{710}\right)^2 = 14{,}6.$$

По значениям f_{11} и $v_0 = 730$ м/с находим в таблице функций f_0 значение $c_1X = 3500$ и определяем для характерной дальности необходимый баллистический коэффициент сопрягаемой пули

$$c_1 = \frac{3500}{400} = 8{,}75 \text{ м}^2/\text{кгс}.$$

Определяем значение cX для основной пули и контрольной дальности 200 м:

$$cX = 7{,}5 \cdot 200 = 1500.$$

По этому значению cX и начальной скорости $v_0 = 710$ м/с находим в табл. 2 приложения 1 значение функции $f_1 = 11{,}48$.

Пользуясь выражением (2.8.2), находим

$$\sin 2\theta_0 = 11{,}48\,\frac{200}{710^2} = 0{,}00456.$$

По выражению (2.8.1) определяем для сопрягаемой пули

$$f_{01} = c_1 \sin 2\theta_0 = 8{,}75 \cdot 0{,}00456 = 0{,}03990.$$

По этому значению f_{01} и v_{01}=730 м/с в таблице функции f_0 (см. приложение 1, табл. 2) находим для сопрягаемой пули c_1X_1=1795. Разделив полученное значение c_1X_1 на c_1, определим дальность для сопрягаемой пули

$$X_1 = \frac{1795}{8{,}75} = 205 \text{ м}.$$

По условиям задачи допускается расхождение дальности полета сопрягаемой пули и контрольной дальности 33,3 м, мы получили 5 м. Следовательно, на дальность 200 м траектории обеих пуль сопрягаются.

Определим степень сопряжения траекторий на контрольной дальности 600 м, произведя аналогичные расчеты, начиная с определения значения cX:

$$cX = 7{,}5 \cdot 600 = 4500; \quad f_1 = 16{,}94; \quad \sin 2\theta_0 = 16{,}94 \cdot \frac{600}{710^2} = 0{,}0202;$$

$$f_{01} = 8{,}75 \cdot 0{,}0202 = 0{,}1765; \quad c_1X_1 = 5108; \quad X_1 = \frac{5108}{8{,}75} = 585 \text{ м}.$$

Проверка показала, что и на дальности 600 м траектории сопрягаются, так как отклонение в дальности (15 м) не превосходит допускаемой величины (33,3 м).

На дальности 400 м сопряжение траекторий обеспечено. Из этого условия получено значение требуемого баллистического коэффициента для сопрягаемой пули c_1=8,75. Так что проверка не требуется. Если ее сделать, то получим:

$$cX = 7{,}5 \cdot 400 = 3000; \quad f_1 = 13{,}75; \quad \sin 2\theta_0 = 13{,}75 \cdot \frac{400}{710^2} = 0{,}0109;$$

$$f_{01} = 8{,}75 \cdot 0{,}0109 = 0{,}0955; \quad c_1X_1 = 3487; \quad X_1 = \frac{3487}{8{,}75} = 400 \text{ м}.$$

Убедившись, что принятое значение баллистического коэффициента сопрягаемой пули обеспечивает сопряжение траекторий, можно определить коэффициент формы, в данном случае (по закону 1943 г.)

$$i = c_1 \frac{q_1}{d^2}\, 10^3 = 8{,}75\,\frac{7{,}5 \cdot 10^{-3}}{7{,}62^2 \cdot 10^{-6}} = 1{,}13,$$

и подобрать форму пули.

Глава 3

ВЫБОР ВНЕШНЕБАЛЛИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОРУЖИЯ

3.1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ВНЕШНЕБАЛЛИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ

Под внешнебаллистическими параметрами понимается совокупность характеристик оружия и патрона, определяющих характер траектории пули в воздухе и действие пуль по целям. К ним относятся: калибр оружия d, вес пули q, ее форма, характеризуемая коэффициентом формы i, и начальная скорость пули v_0. Если первые три параметра известны, то известен баллистический коэффициент пули, а если к тому же известна начальная скорость пули, то известна ее скорость и действие пули по целям на любой дальности.

При проектировании патрона калибр оружия, вес пули, ее форму и начальную скорость выбирают исходя из конкретных требований, предъявляемых к оружию. При решении такой задачи обычно исходят из различных предпосылок, например, из требуемого действия пули по целям на требуемой дальности, из требуемой настильности траектории, из ограничения силового воздействия выстрела на оружие и др.

С учетом всех требований одновременно задача не решается, поэтому поступают так: выбирают наиболее важное требование и решают задачу, исходя из этого требования, а затем оценивают полученное решение, насколько оно удовлетворяет другим требованиям. Обычно неоднократно корректируют решение, чтобы оно в максимальной степени удовлетворяло всем основным требованиям к оружию.

3.2. ВЫБОР КАЛИБРА, ВЕСА И СКОРОСТИ ПУЛИ ИСХОДЯ ИЗ ДЕЙСТВИЯ ЕЕ ПО ЦЕЛЯМ

Задача обеспечения требуемого действия пули по цели на заданной дальности не имеет однозначного решения. Можно получить много разных решений, различным образом сочетающих ве-

личины калибра, веса и начальной скорости пули. Поэтому на практике из нескольких возможных решений выбирают наиболее подходящее. Для получения самих возможных решений, в свою очередь, задаются некоторыми характеристиками.

Рассмотрим примерный порядок работ при выборе калибра, веса и начальной скорости пули, исходя из обеспечения требуемого действия пули по цели на заданной дальности.

1. В зависимости от поставленной задачи можно задаться калибром оружия. Чтобы определить влияние калибра на свойства оружия и выявить тенденцию этого влияния, рекомендуется иметь не менее трех значений калибра.

2. Для каждого значения калибра можно задаться весом пули. Для определения влияния веса пули на результаты решения рекомендуется иметь не менее трех его значений. Практически следует задаться тремя значениями коэффициента веса (выражение (2.1.3.), а по ним определить значения веса пули для всех взятых калибров.

3. Ориентируясь на какие-либо существующие образцы пуль, можно задаться формой пули (длиной головной ее части), определить коэффициент формы (выражения (2.3.2), (2.3.3)), приняв его постоянным значением для всех рассматриваемых вариантов пуль.

4. Решая задачу обеспечения требуемого действия пуль по целям (параграфы 1.4; 1.7), можно определить для каждого калибра и веса пули необходимую скорость встречи ее с целью. При рассмотрении бронепробивного действия пуль необходимо знать значения диаметра d_c и веса q_c сердечника. Для этого можно воспользоваться относительным диаметром $m_d = \frac{d_c}{d}$ и относительным весом $m_q = \frac{q_c}{q}$ сердечника, значения которых у существующих пуль находятся в достаточно узких пределах.

Значения m_d, например, находятся в пределах 0,75—0,85, а значения m_q — в пределах 0,55—0,60 для пуль типа Б-30, 0,60—0,65 для пуль типа Б-32 и 0,65—0,75 для пуль типа БС-41. В указанных пределах значения коэффициентов увеличиваются с увеличением калибра. Зная их, можно определить диаметр и вес сердечника

$$d_c = m_d d \text{ и } q_c = m_q q.$$

5. Зная калибр, вес и форму пули данного варианта, можно определить баллистический коэффициент по выражению (2.1.1).

6. Имея значения баллистического коэффициента и скорости пули на заданной дальности, можно определить начальную скорость пули, пользуясь выражением (1.5.1) и таблицами основных функций.

Таким образом можно получить совокупности d, q, i, v_0, из которых следует выбрать такие, которые в лучшей степени удовлетворяют предъявленным к оружию требованиям.

3.3. ВЫБОР КАЛИБРА, ВЕСА И СКОРОСТИ ПУЛИ ИСХОДЯ ИЗ НАСТИЛЬНОСТИ ТРАЕКТОРИИ

Для связи дальности прямого выстрела как характеристики настильности траектории с калибром, весом и формой пули (баллистическим коэффициентом) полезно воспользоваться формулой (2.6.2) или таблицами вспомогательных функций f_0 и f_6 (см. приложение 1, табл. 2).

Выражения двух указанных функций имеют вид:

$$f_0 = c \sin 2\theta_0 = c2 \sin\theta_0 \cos\theta_0, \qquad f_6 = \frac{Y}{X \operatorname{tg}\theta_0} = \frac{Y}{X}\,\frac{\cos\theta_0}{\sin\theta_0}.$$

Перемножив функции, получим

$$f_0 f_6 = c2\,\frac{Y}{X}\cos^2\theta_0. \tag{3.3.1}$$

Принимая для настильных траекторий $\cos^2\theta_0 = 1$ и $X = Д$ для $Y = 0{,}5$ м, получим

$$f_0 f_6 = \frac{c}{Д}. \tag{3.3.2}$$

Имея выражение (3.3.2), можно наметить следующий примерный порядок решения задачи.

1. Задаться значениями d, q, i так, как указано в параграфе 3.2, и, пользуясь выражением (2.1.1), определить значение баллистического коэффициента c.

2. Воспользовавшись заданной дальностью прямого выстрела, определить значение произведения $cД$ и по таблицам функций f_0 и f_6 (см. приложение 1, табл. 2) такую скорость v_0, для которой произведение значений f_0, f_6, найденных в соответствующей строке таблиц, равнялось бы частному от деления c на $Д$, т. е. отвечало бы равенству (3.3.2). Найденное значение начальной скорости и соответствует заданной дальности прямого выстрела.

Таким образом получается совокупность значений d, q, i, v_0, соответствующая заданной дальности $Д$.

3.4. ВЫБОР КАЛИБРА, ВЕСА И СКОРОСТИ ПУЛИ ИСХОДЯ ИЗ СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСТРЕЛА НА ОРУЖИЕ

Характеристикой силового воздействия выстрела на оружие является импульс отдачи, равный сумме произведений сил давления пороховых газов на дно канала ствола за малые промежутки времени на эти промежутки.

Известно, что полный импульс отдачи численно равен максимальному количеству движения оружия, т. е.

$$I_0 = Mv_{max},$$

где M — масса оружия, кг;

v_{max} — максимальная скорость свободной отдачи оружия, м/с.

Чем меньше импульс отдачи, тем меньше количество движения оружия, тем лучше его устойчивость при автоматической стрельбе, тем выше эффективность стрельбы, особенно из неустойчивых положений (стоя, сидя с руки и т. п.). В этом состоит практическое значение величины импульса отдачи.

Действие пороховых газов на пулю и оружие можно рассматривать как внутреннюю силу, и импульс отдачи определять как количество движения пули и порохового заряда, т. е.

$$I_0 = \frac{q}{g} v_0 + \frac{\beta\omega}{g} v_0 = \frac{q}{g}\left(1 + \beta\frac{\omega}{q}\right) v_0, \qquad (3.4.1)$$

где β — коэффициент последействия пороховых газов,

$$\beta = \frac{1275}{v_0} \text{ (по Благонравову)};$$

ω — вес порохового заряда.

Вес порохового заряда, неизвестный еще при решении задач внешней баллистики, можно ориентировочно определить так:

$$\omega = n_\omega E_0, \qquad (3.4.2)$$

где n_ω — коэффициент использования порохового заряда (количество пороха, приходящегося на единицу начальной кинетической энергии пули E_0). Его можно принять, ориентируясь на близкие по своим свойствам существующие образцы оружия. Большей частью он находится в пределах $n_\omega = (8 \div 10) \cdot 10^{-6}$ кг/кгс·м.

С учетом этого выражение (3.4.1) может быть записано в таком виде:

$$I_0 = \frac{q}{g}\left(1 + \frac{1275}{2g} n_\omega v_0\right) v_0, \qquad (3.4.3)$$

или

$$v_0 = \left(\sqrt{1 + 2m\frac{I_0}{q}} - 1\right)\frac{g}{m},$$

где

$$m = 1275\, n_\omega.$$

Теперь, задавшись значениями d и q так, как указано в параграфе 3.2, и имея заданным значение I_0, можно определить значение начальной скорости v_0. Таким образом получается совокупность значений d, q и v_0, соответствующая заданному значению импульса отдачи I_0.

Сравнительно быстро набрать вариант баллистического решения позволяют специальные графики, приведенные в приложении 2.

Иногда в качестве характеристики силового воздействия выстрела на оружие, а последнего на стрелка (станок или установку) принимается энергия отдачи $E_{отд}$, она имеет такую связь с импульсом отдачи

$$E_{отд} = \frac{g}{2Q} I_0^2,$$

(где Q — вес оружия), т. е. имеет с ним лишь количественное расхождение.

3.5. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ

Из многих вариантов баллистического решения, полученных методами, изложенными в этой главе, выбирают наилучшие варианты для последующей работы, отсеивая наименее подходящие варианты. Чтобы иметь дополнительные данные и лучше ориентироваться в общей картине возможных решений, можно воспользоваться следующими простыми приемами.

Можно получить, например, ориентировочное представление о соотношении максимального давления пороховых газов p_{max} и пути пули в канале ствола $l_д$, воспользовавшись уравнением работы пороховых газов в канале ствола

$$\int_0^{l_д} psdx = \varphi E_0,$$

где $\varphi = a + b\frac{\omega}{q}$ — коэффициент фиктивности массы пули.

Приняв давление пороховых газов равным среднему значению $p_{ср} = \eta_p p_{max}$ и учтя, что $s = n_s d^2$, получим

$$\eta_p n_s d^2 p_{max} l_д = \varphi E_0, \qquad (3.5.1)$$

где $\eta_p = \frac{p_{ср}}{p_{max}}$ — коэффициент полноты диаграммы $p(x)$ (рис. 19).

Для решения задачи можно задаться коэффициентом η_p, ориентируясь на существующие образцы оружия, а вес заряда принять пропорциональным начальной энергии (выражение (3.4.2)). Тогда

$$\varphi = a + b\,\frac{n_\omega E_0}{q},$$

и выражение (3.5.1) можно записать в таком виде:

$$p_{\max} l_д = \frac{\left(a + b\,\dfrac{n_\omega E_0}{q}\right) E_0}{\eta_p n_s d^2}. \qquad (3.5.2)$$

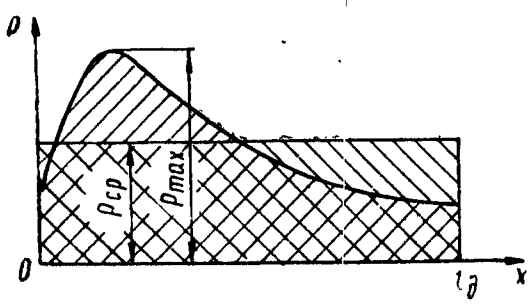


Рис. 19. Определение среднего уровня давления газов

Для образцов стрелкового оружия $a=1{,}1$; $b=0{,}28$; $n_\omega = (8 \div 10)\cdot 10^{-6}$ кг/кгс·м; $n_s=0{,}82$; $\eta_p=0{,}5 \div 0{,}6$.

Выражение (3.5.2) и позволяет выбрать наиболее подходящее соотношение $p_{\max}$ и $l_д$ по величинам E_0, q и d_0.

Можно также получить представление о весе оружия для различных вариантов решения, воспользовавшись выражением для коэффициента использования металла

$$\eta = \frac{E_0}{Q}\,n_т$$

и задаваясь его величиной.

Тогда вес оружия будет функцией начальной энергии и темпа стрельбы $n_т$ (количество выстрелов в секунду):

$$Q = \frac{n_т}{\eta}\,E_0.$$

Для неавтоматического и самозарядного автоматического оружия берется $n_т=1$.

При выборе варианта решения задачи исходя из одного существенного требования оценивают, как он удовлетворяет другим требованиям. Если, например, решалась задача с учетом действия пули по целям, то нужно определять импульс отдачи и дальность прямого выстрела.

Импульс отдачи определяется по выражению (3.4.3), а дальность прямого выстрела — по выражению (2.6.2) или выражению (3.3.2), для чего по начальной скорости v_0 находится такая строка $cД$ в таблицах функций f_0 и f_6 (см. приложение 1, табл. 2), чтобы произведение их значений отвечало равенству (3.3.2).

Иногда необходимо сравнить значения максимальной высоты траектории Y, соответствующие определенной дальности X. Это можно сделать, воспользовавшись выражением (3.3.1) и переписав его в виде

$$Y = \frac{X}{2c} f_0 f_6. \qquad (3.5.3)$$

По величинам cX и v_0 в табл. 2 приложения 1 находим значения f_0 и f_6 и подсчитываем значение Y.

Если задача решалась исходя из импульса отдачи или дальности прямого выстрела, то необходимо оценить убойное и пробивное (проникающее) действие пули, что можно сделать, пользуясь выражениями (1.4.5), (1.7.1) и др.

Так набирается материал, необходимый для выбора варианта решения, в лучшей степени удовлетворяющего конкретным тактико-техническим требованиям.

3.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЧАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ПУЛИ

Существуют различные методы опытного определения скорости пуль и снарядов. Среди них широко распространенным на практике является метод определения средней скорости пули на участке траектории путем измерения времени полета ее на этом участке.

Инструкциями по определению начальной скорости пули предусматриваются два участка (межрамное расстояние) : 20 м от дульного среза при ожидаемой скорости до 500 м/с и 50 м при ожидаемой скорости больше 500 м/с. Допускается, что на измеряемом участке пуля движется равнозамедленно и прямолинейно. Тогда скорость пули в середине участка найдется как отношение

$$v_x = \frac{X}{t_X},$$

где X — межрамное расстояние (рис. 20);

t_X — измеренное время полета пули;

$x = \frac{X}{2} + l$ — расстояние от дульного среза до середины межрамного расстояния;

l — расстояние от дульного среза до первого блокирующего устройства.

Для определения начальной скорости пули к полученному значению скорости v_x добавляется поправка Δv_x:

$$v_0 = v_x + \Delta v_x.$$

Если обозначить приращение основной функции $Д(v)$, соответствующее изменению скорости пули на 10 м/с, через $\Delta Д(v_x)$, а изменение этой же функции, соответствующее поправке к скорости Δv_x, через cx, то можно составить пропорции:

$$\Delta Д(v_x) - 10$$

$$cx - \Delta v_x,$$

откуда

$$\Delta v_x = \frac{10cx}{\Delta Д(v_x)}.$$

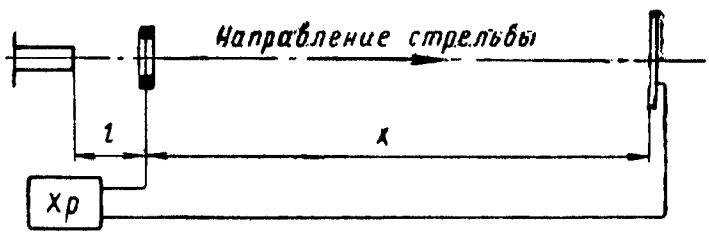


Рис. 20. Схема определения средней скорости пули на одном участке траектории

Значения $\Delta Д(v_x)$ по закону 1943 г. приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения $\Delta Д(v_x)$ по закону 1943 г.

v_x, м/с	00	10	20	30	40	50	60	70	80	90
200	657	620	600	570	545	525	505	482	453	420
300	383	327	350	206	181	166	157	149	144	138
400	136	132	130	127	125	124	121	120	119	116
500	115	114	112	111	110	109	108	107	106	105
600	104	103	102	102	101	100	99	98	98	97
700	96	95	94	93	92	92	91	90	90	89
800	89	88	88	87	86	86	85	84	84	83
900	83	83	82	82	81	80	79	79	78	77
1000	77	76	75	75	74	74	74	73	73	72
1100	72	72	71	71	71	70	69	69	68	68
1200	67	66	66	66	65	64	64	63	63	63
1300	62	62	61	61	60	60	59	59	59	58
1400	58	57	57	57	56	56	56	55	55	54

Смысл поправки к скорости пули иллюстрируется рис. 21. После вылета пули из дула скорость ее несколько увеличивается за счет действия на нее истекающих пороховых газов, затем она уменьшается до v_x за счет действия силы сопротивления воздуха.

Поправка Δv_x позволяет привести скорость к дульному срезу, от которого ведутся все траекторные расчеты.

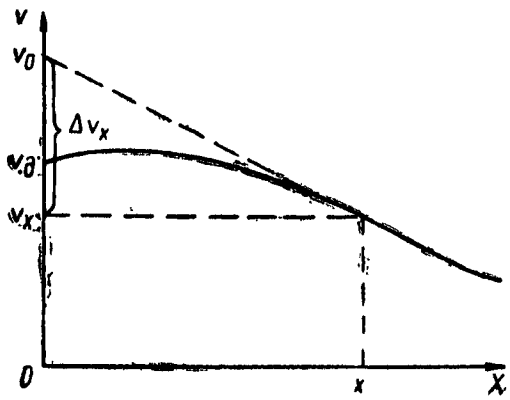


Рис. 21. Схема приведения скорости v_x к дульному срезу

Для измерения времени полета пули на межрамном промежутке применяются электронные, электромагнитные и другие хронометры (хронографы). На электронном хронометре время считывается непосредственно, а с применением электромагнитного хронографа Ле-Буланже его определяют по высоте падения хронометра h_1:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2h_1}{g}}.$$

Для определения времени полета пули из этого времени вычитается время падения отмечателя и срабатывания спускового механизма t_2 (время запаздывания). Оно обычно равно 0,15 с. Тогда

$$v_x = \frac{X}{t_X} = \frac{X}{\sqrt{\frac{2h_1}{g}} - 0{,}15}.$$

В качестве блокирующих устройств, устанавливаемых на концах межрамного расстояния, могут применяться проводниковые, соленоидные и фотоэлектрические датчики. В качестве первого блокирующего устройства чаще всего используется проволочка, натянутая в специальном дульном хомутике и расположенная в непосредственной близости (3—10 мм) от дульного среза с таким расчетом, чтобы она разрывалась выходящей из дула пулей. На расстоянии X (20 или 50 м) от дульного среза блокировка осуществляется контактной бронеплитой с инерционным размыкателем. Подготовка оружия, патронов, подготовка и проверка баллистической аппаратуры оговариваются в специальных инструкциях.

Для определения скорости пули делается десять зачетных выстрелов, которые чередуются через выстрел образцовыми патронами. Перед стрельбой делается один прогревной (незачетный) выстрел. Для каждых десяти зачетных выстрелов определяются поправки на температуру заряда, метеорологические условия и на баллистическую характеристику оружия.

Величина поправки на температуру заряда определяется по таблицам поправочных коэффициентов проф. В. Е. Слухоцкого или по специальным таблицам, вычисленным на их основе (см. приложение 1, табл. 3). За температуру заряда принимается температура в помещении, где выдерживаются патроны перед стрельбой, нормальной считается температура +20°С.

Поправки к скорости пули на метеорологические условия стрельбы определяются по температуре воздуха в тире и атмосферному давлению с использованием специальных таблиц поправок. Эти поправки обычно небольшие. Для штатных патронов при изменении температуры от —50 до +40°С и давления от 710 до 730 мм рт. ст. величины поправок к скорости пули не выходят за пределы 3—7 м/с.

Поправка к скорости на баллистическую характеристику оружия определяется как разность между средней скоростью пуль, установленной для образцовых патронов *, и средней скоростью пуль образцовых патронов, полученной при стрельбе из данного экземпляра оружия при испытании. Средняя, наибольшая и наименьшая скорости пуль с учетом поправок на температуру заряда, метеорологические условия стрельбы и баллистическую характеристику оружия, а также разность между наибольшей и наименьшей скоростями пуль являются окончательными характеристиками баллистической группы патронов по результатам испытаний. При необходимости скорости могут быть приведены к дульному срезу, т. е. определены начальные скорости.

3.7. ХАРАКТЕРИСТИКИ РАССЕИВАНИЯ ПУЛЬ

Внешнебаллистические параметры оружия и патрона, о которых шла речь в этой главе, в пределах одного внешнебаллистического решения практически не одинаковы, имеют неизбежный естественный разброс. Это выражается в рассеивании пуль (траекторий) при стрельбе.

В общем случае рассеивание пуль при стрельбе является результатом совокупности многих факторов, которые можно разделить условно на следующие:

оружие и условия его использования;

---

* Образцовые патроны (см. параграф 5.12).

патрон, его баллистические и конструктивные характеристики;

метеорологические условия стрельбы;

стрелок, его состояние, уровень стрелковой подготовки и навыки стрельбы.

Эти факторы взаимосвязаны и взаимообусловлены, рассеивание от одних факторов проявляется в зависимости от других. Например, метеорологические условия стрельбы влияют на рассеивание в зависимости от баллистических качеств оружия, главным образом, от настильности траектории; у стрелка результаты рассеивания при стрельбе зависят от особенностей оружия и т. п.

В данном случае нас интересует патрон, его влияние на рассеивание пуль при стрельбе и основные причины рассеивания. В общем рассеивании патрон занимает не более одной трети даже для станковых пулеметов (ПК). Тем не менее всегда проявляется интерес к улучшению кучности патронов. Это объясняется большой ролью первого (одиночного) выстрела при стрельбе. Необходимость в отдельных случаях увеличения рассеивания пуль для увеличения эффективности стрельбы не меняет дела.

На рассеивание пуль при стрельбе со стороны патрона оказывают влияние следующие факторы:

баллистические характеристики;

устойчивость пуль при полете в воздухе;

конструктивные особенности пуль;

физико-химические свойства и стабильность пороха;

степень точности изготовления патронов.

Благоприятное влияние на кучность* стрельбы оказывает настильность траектории, зависящая от начальной скорости пули и баллистического коэффициента. При настильных траекториях меньше влияние метеорологических условий на полет пуль и на рассеивание их при стрельбе. С этой же целью предпочтительны более тяжелые пули, имеющие бóльшие поперечные нагрузки и меньший баллистический коэффициент, если они удовлетворяют другим требованиям.

Частичное нарушение устойчивости пуль при полете заметно сказывается на рассеивании. Необходимая устойчивость пуль достигается выбором надлежащей длины хода (крутизны) нарезов в новом оружии, определенных динамических характеристик новых пуль для существующего оружия, а также плотностью запрессовки внутренних элементов пуль в процессе производства, исключающей динамическую их неуравновешенность.

Неблагоприятные условия для кучности стрельбы создаются обычно с усложнением внутренней конструкции пули. Чем больше

---

* Кучность и рассеивание рассматриваются тут как противоположные (обратные) одно другому понятия.

внутренних элементов конструкции пуль, тем больше создается условий для увеличения рассеивания. Особенно при наличии трассера. Трассирующие пули имеют обычно в 1,5—2 раза большее рассеивание в сравнении с обыкновенными пулями. В какой-то мере оказывает влияние на рассеивание поперечная жесткость пули. В этом отношении лучше приспособлены для хорошей кучности стрельбы пули со свинцовым сердечником или с более толстой свинцовой рубашкой. Они также меньше изнашивают нарезы. Для обеспечения хорошей кучности стрельбы оперенными пулями, кроме эффективного оперения, требуется необходимый проворот их при полете для компенсации боковых составляющих аэродинамической силы.

Однородность и стабильность физико-химических характеристик пороха оказывают известное влияние на рассеивание пуль, поскольку они влияют на разброс максимального давления газов и начальной скорости пули.

Большое влияние на рассеивание пуль при стрельбе оказывает точность изготовления патронов, их элементов, монтажа и общая культура патронного производства. Тут имеют значение: точность навески (дозировки) порохового заряда, ударного состава и воспламеняющей способности капсюля-воспламенителя, точность веса и формы пули, диаметра пули по ведущей части, закрепления пули в дульце гильзы и величины пулеизвлекающего усилия, положения центра тяжести и величин моментов инерции пули. Это основной фактор рассеивания при реализованных (существующих) патронах. Точность изготовления патронов противоречит требованиям экономичности и условиям их массового производства. Приемлемая точность патронов устанавливается практикой производства. Установленные нормативы точности изменяются в сторону ужесточения допусков только в особых случаях, например, при изготовлении партий образцовых и целевых (спортивных) патронов.

Для количественной оценки рассеивания пуль (попаданий) используется ряд характеристик, в том числе радиусы рассеивания, сердцевинные полосы рассеивания, серединные (вероятные) отклонения и другие. Все они связываются со средней точкой (центром) рассеивания или попадания (СТП).

При нескольких (2—5) выстрелах средняя точка попадания определяется графически последовательным делением отрезков, указанным в наставлениях по стрелковому делу. При значительной группе (порядка 10) выстрелов целесообразно СТП определять расчетом:

$$x_{\text{стп}} = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n} x_i \quad \text{и} \quad y_{\text{стп}} = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n} y_i.$$

Для этого на щите (мишени) проводятся оси прямоугольных координат (рис. 22). При большем числе выстрелов СТП определяется графически как точка пересечения двух (горизонтальной и вертикальной) осей рассеивания, которые проводятся так, чтобы количество пробоин (точек попадания) с каждой стороны от них было одинаковым. Также одинаковым должны быть расстояния до ближайших двух пробоин, расположенных с обеих сторон.

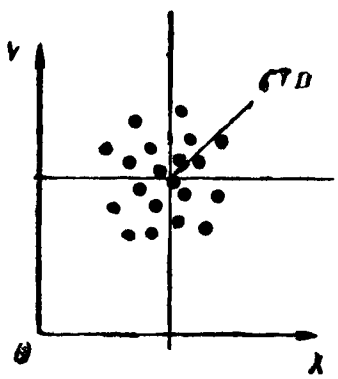


Рис. 22. Оси рассеивания и средняя точка попадания

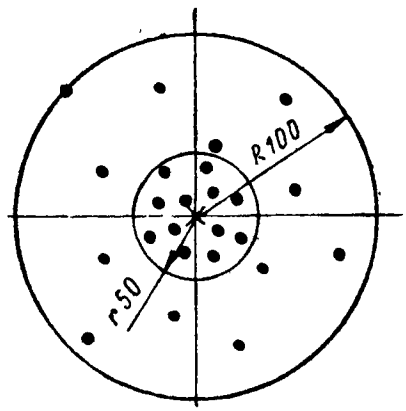


Рис. 23. Радиусы рассеивания

Радиусы рассеивания определяются графически (рис. 23). *Большой радиус рассеивания* ($R100$) определяется как радиус наименьшего круга с центром в средней точке попадания, вмещающего 100% пробоин. Он равен расстоянию от средней точки попадания до центра наиболее удаленной от нее пробоины. *Малый радиус рассеивания* (r 50) определяется как радиус круга с центром в средней точке попадания, вмещающего 50% пробоин, наиболее близко расположенных к СТП. Он равен расстоянию от средней точки попадания до середины отрезка (по радиусу) между окружностями, проведенными через центры граничных пробоин (пятой и шестой при десяти пробоинах, десятой и одиннадцатой при двадцати пробоинах и т. д.). Практически наблюдается такая связь радиусов рассеивания:

$$R100 = (2{,}5 \div 3)\, r50.$$

Сердцевинные полосы рассеивания по вертикали ($C_в$) или горизонтали ($C_б$) включают по 70% пробоин и определяются графически при 20 и более выстрелах в группе. Для определения $C_в$, например, проводятся две горизонтальные линии так, чтобы за ними сверху и снизу оставалось по 15% пробоин, расстояния от каждой линии до ближайших пробоин по обе стороны от нее были одинаковы. Аналогично определяется $C_б$, только для этого проводятся две вертикальные линии (рис. 24).

При пересечении сердцевинных полос образуется прямоугольник с площадью $C_б \cdot C_в$, называемый *сердцевиной рассеивания*. Он

часто принимается в качестве самостоятельной характеристики рассеивания и характерен тем, что включает около половины, точнее 0,7·0,7=0,49 (49%) пробоин.

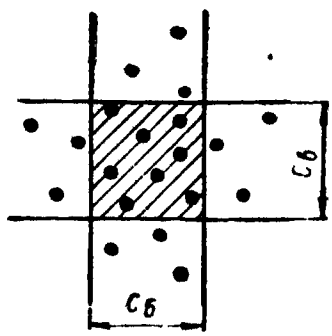


Рис. 24. Сердцевинные полосы и сердцевина рассеивания

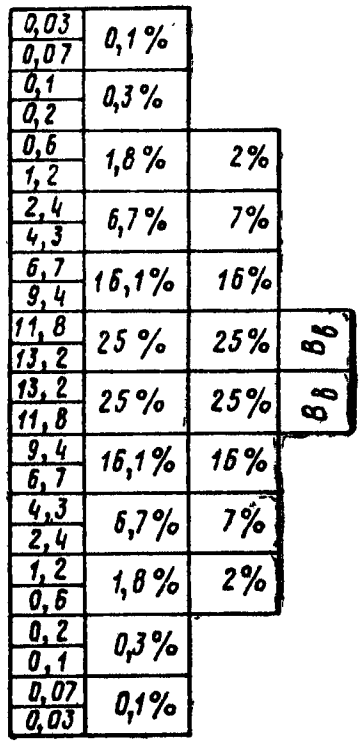


Рис. 25. Шкала нормального закона рассеивания (ошибок)

На основе длительного опыта стрельб установлено, что рассеивание пуль (снарядов, траекторий) подчиняется нормальному закону распределения (ошибок). В основе этого закона лежит шкала рассеивания (рис. 25). Она получается путем деления всего рассеивания в каком-нибудь направлении при достаточно большом (в пределе бесконечном) числе выстрелов на равные полосы, содержащие определенный процент пробоин. Разные столбцы шкалы отражают разную деталировку или приближение.

Полоса деления шкалы, содержащая 25% пробоин, называется срединным (вероятным) отклонением, которое может быть по высоте ($B_в$), боковому направлению ($B_б$) и дальности ($B_д$). Все отклонения от линии рассеивания могут содержать шесть (точно) или четыре (приближенно) срединных (вероятных) отклонений. Величины $B_в$ или $B_б$ могут быть определены графически при большой группе выстрелов или аналитически по выражениям

$$B_в = 0{,}6745\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{1}^{n} y_i} \text{ и } B_б = 0{,}6745\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{1}^{n} x_i},$$

где x_i, y_i — отклонения отдельных пробоин от осей рассеивания;

n — число выстрелов в группе (пробоин).

Величины $B_в$ и $B_б$ имеют такую связь с другими характеристиками рассеивания:

$$C_б \approx 3B_б; \quad C_в \approx 3B_в;$$

$$r50 = 1{,}76\sqrt{B_б B_в} \approx 0{,}57\sqrt{C_б C_в}.$$

В процессе проведения стрельб на кучность (рассеивание) получается естественный разброс характеристик рассеивания. Получаемые при этом опытные данные рекомендуется фиксировать в отчетной документации для накопления опытного материала.

ПРИМЕРЫ

Пример 3.1. Определить вариант внешнебаллистического решения, исходя из обеспечения убойного действия ($\Delta E = 8{,}52$ кгс·м) на дальности $X = 400$ м.

Решение

Задаемся калибром, весом и формой пули такими же, как у пули патрона обр. 1943 г.: $d = 7{,}62$ мм, $q = 7{,}9$ гс, $h = 16{,}45$ мм, $\frac{h}{d} = 2{,}16$.

По выражению (1.4.4) имеем

$$\lambda = 1{,}91 - 0{,}35\,\frac{16{,}45}{7{,}62} = 1{,}155.$$

Подставляем в выражение (1.4.6) имеющиеся данные

$$8{,}52 = 34 \cdot 10^3 \cdot 1{,}155 \cdot 7{,}62^2 \cdot 10^{-6}\,(1 + 1{,}8 \cdot 10^{-5} v_c^2),$$

откуда

$$v_c = 390 \text{ м/с}.$$

По выражению (2.3.2) находим

$$i = 1{,}1 - 0{,}343 \cdot 2{,}16 + 0{,}042 \cdot 2{,}16^2 = 0{,}556 \text{ (по Сиаччи)}.$$

Скорости пули на дальностях до 400 м будут во всяком случае больше 400 м/с, поэтому переходный множитель к закону 1943 г. (см. рис. 15) можно взять порядка $n = 0{,}46$, откуда

$$i = \frac{0{,}556}{0{,}46} = 1{,}21 \text{ (по закону 1943 г.)}.$$

С помощью выражения (2.1.1) получаем

$$c = \frac{1{,}21 \cdot 7{,}62^2 \cdot 10^{-6}}{7{,}9 \cdot 10^{-3}}\,10^3 = 8{,}9 \text{ м}^2/\text{кгс} \quad \text{(по закону 1943 г.)}.$$

По таблицам основных функций (см. приложение 1, табл. 1)

$$Д(v_c) = 11680.$$

С учетом выражения (1.5.1)

$$Д(v_0) = 11680 - 8{,}9 \cdot 400 = 8120,$$

по табл. 1 приложения 1 находим $v_0 = 707$ м/с.

Это задача, обратная той, которая решалась в примере 1.1. Получили вариант: $d = 7{,}62$ мм, $q = 7{,}9$ гс, $i = 1{,}21$ (по закону 1943 г.) и $v_0 = 707$ м/с, соответствующий автомату АКМ. Начальная скорость пули получилась на 3 м/с меньше табличной.

Пример 3.2. Определить, какую начальную скорость 7,62-мм винтовочной пули надо иметь, чтобы получить дальность прямого выстрела 400 м.

Решение

В примере 2.3 для 7,62-мм винтовочной пули был получен баллистический коэффициент (средний на дальности 500 м) $c = 7{,}214$ м²/кгс. Примем его и для нашего примера. С учетом этого получаем:

$$cД = 7{,}214 \cdot 400 = 2885{,}6;$$

$$\frac{c}{Д} = \frac{7{,}214}{400} = 0{,}01803.$$

Зададимся $v_0 = 800$ м/с и определим по табл. 2 приложения 1 f_0 и f_6:

cX	f_0
2800	0,05755
2885,6	0,05993
2900	0,06033

cX	f_6
2500	0,2830
2885,6	0,2889
3000	0,2906

$$f_0 f_6 = 0{,}05993 \cdot 0{,}2889 = 0{,}0173 < 0{,}0183.$$

Полученное значение произведения $f_0 f_6$ не отвечает равенству (3.3.2), следовательно, начальной скоростью пули задались неудачно. По таблицам замечаем, что значения f_0 и f_6 увеличиваются с уменьшением v_0, поэтому зададимся меньшей скоростью $v_0 = 750$ м/с и проделаем такие же вычисления:

cX	f_0
2800	0,06618
2885,6	0,06894
2900	0,06940

cX	f_6
2500	0,2840
2885,6	0,2902
3000	0,2920

$$f_0 f_6 = 0{,}06894 \cdot 0{,}2902 = 0{,}020 > 0{,}01803.$$

Значение искомой начальной скорости пули находится между 800 и 750 м/с и определяется методом линейного интерполирования

v_0, м/с	$f_0 f_6$
800	0,01730
785,5	0,01803
750	0,02000

Таким образом, для получения дальности прямого выстрела 400 м по цели высотой 0,5 м необходима начальная скорость пули 785,5 м/с.

Пример 3.3. Определить дальность прямого выстрела для АКМ (c=8,9 м²/кгс, v_0=710 м/с).

Решение

Предположим, что дальность прямого выстрела ожидается около 350 м. Тогда $cД$=8,9·350=3100.

Примем для первого варианта расчета cX=3000.

По таблицам вспомогательных функций (см. приложение 1, табл. 2) для этой строки (cX=3000) и v_0=710 м/с определяем f_0 и f_6, занося данные в таблицы:

f_0

cX	v_0, м/с		
	720	710	700
3000	0,07939	0,08190	0,08441

f_6

cX	v_0, м/с		
	750	710	700
3000	0,2920	0,2933	0,2936

$$f_0 f_6 = 0{,}08190 \cdot 0{,}2933 = 0{,}02400;$$

$$X = \frac{3000}{8{,}9} = 337 \text{ м}; \quad \frac{c}{X} = \frac{8{,}9}{337} = 0{,}02640.$$

Поскольку $f_0 f_6 < \frac{c}{X}$, то $X \neq Д$.

Учитывая, что f_0 и f_6 увеличиваются с увеличением cX, задаемся новым, бóльшим значением cX=3100. Поступая аналогичным образом, получим (см. приложение 1, табл. 2):

f_0

cX	v_0, м/с		
	720	710	700
3000	0,07939	0,08190	0,08441
3100		0,08581	
3250	0,08883	0,09167	0,09451

f_6

cX	v_0, м/с		
	750	710	700
3000	0,2920	0,2933	0,2936
3100		0,2950	
3500	0,3005	0,3019	0,3023

$$f_0 f_6 = 0{,}08581 \cdot 0{,}2950 = 0{,}0253;$$

$$X = \frac{3100}{8{,}9} = 348 \text{ м}; \quad \frac{c}{X} = \frac{8{,}9}{348} = 0{,}0255.$$

Вторая попытка показала хорошую сходимость f_0, f_6 и $\frac{c}{X}$, поэтому полученное значение X можно считать дальностью прямого выстрела, т. е. $Д=348$ м.

Пример 3.4. Определить максимальную высоту траектории пули при стрельбе из АКМ на дальность 1000 м.

Решение

По величинам $v_0=710$ м/с и $cX=8{,}9\cdot1000=8900$ находим в таблицах вспомогательных функций (см. табл. 2, приложение 1) значения f_0 и f_6:

f_0

cX	v_0, м/с		
	720	710	700
8750	0,5004	0,5132	0,5260
8900		0,5364	
9000	0,5289	0,5422	0,5555

f_6

cX	v_0, м/с		
	750	710	700
8500	0,3739	0,3687	0,3674
8900		0,3706	
9000	0,3768	0,3711	0,3697

По выражению (3.5.3)

$$Y=\frac{1000}{2\cdot8{,}9}\cdot0{,}5364\cdot0{,}3706=11{,}2\text{ м}.$$

Пример 3.5. Определить импульс отдачи для АКМ.

Решение

По выражению (3.4.1) находим

$$I_0=\frac{7{,}9\cdot10^{-3}}{9{,}81}\left(1+\frac{1275}{710}\,\frac{1{,}6}{7{,}9}\right)710=0{,}78\text{ кгс}\cdot\text{с}.$$

Пример 3.6. Какую начальную скорость 7,62-мм винтовочной пули нужно иметь, чтобы импульс отдачи был таким же, как у АКМ?

Решение

Приняв $n_\omega=9{,}10^{-6}$ кгс/кгс·м, по выражению (3.4.3) получим:

$$0{,}78=\frac{9{,}6\cdot10^{-3}}{9{,}81}\left(1+\frac{1275}{2\cdot9{,}81}9\cdot10^{-6}v_0\right)v_0;$$

$$0{,}78=0{,}978\cdot10^{-3}v_0+0{,}572\cdot10^{-6}v_0^2;$$

$$v_0^2+1{,}71\cdot10^3v_0-1{,}36\cdot10^6=0;$$

$$v_0=-\frac{1{,}71}{2}10^3+\sqrt{\left(\frac{1{,}71}{2}\right)^2+1{,}36\cdot10^3}=215\text{ м/с}.$$

Пример 3.7. Определить соотношение p_{max} и $l_д$ для варианта баллистического решения с $d=7{,}62$ мм, $q=9{,}6$ гс и $v_0=840$ м/с.

Решение

$$E_0 = \frac{9{,}6\cdot 10^{-3}}{2\cdot 9{,}81}\cdot 840^2 = 346 \text{ кгс}\cdot\text{м}.$$

По выражению (3.5.2) имеем

$$p_{max}\, l_д = \frac{\left(1{,}1 + 0{,}28\,\frac{9\cdot 10^{-6}\cdot 346}{9{,}6\cdot 10^{-3}}\right) 346}{0{,}5\cdot 0{,}82\cdot 7{,}62^2\cdot 10^{-6}} = 17{,}3\cdot 10^6 \text{ кгс}\cdot\text{м}/\text{м}^2 =$$

$$= 1730 \text{ кгс}\cdot\text{м}/\text{см}^2.$$

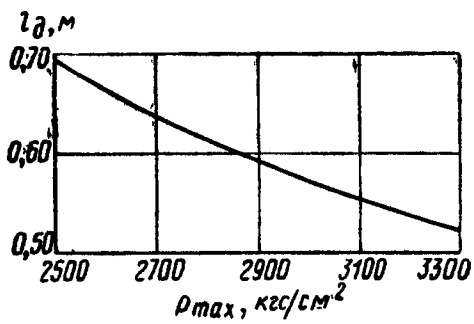


Рис. 26. Зависимость пути пули в канале ствола от максимального давления газов

Полученная зависимость изображена на рис. 26. Давлению, например, 2900 кгс/см² соответствует путь пули в канале порядка 590 мм.

Глава 4

ВЫБОР УСЛОВИЙ ЗАРЯЖАНИЯ

4.1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ВЫБОРЕ УСЛОВИЙ ЗАРЯЖАНИЯ

Условиями заряжания называются те условия, в которых энергия пороховых газов используется для сообщения пуле кинетической энергии. К ним относятся: максимальное давление пороховых газов p_{max}, длина канала ствола $L_{кн}$, вес заряда ω, плотность заряжания Δ, уширение каморы (коэффициент бутылочности ψ). Заданными условиями, полученными при решении задачи внешней баллистики, являются: калибр d, вес пули q и начальная (дульная) скорость пули $v_д$*.

Калибр и вес пули связаны коэффициентом веса $c_q = \frac{q}{d^3}$. Поэтому задача выбора условий заряжания ставится следующим образом: даны c_q и $v_д$; надо определить p_{max}, $L_{кн}$, ω, Δ, ψ.

В таком виде задача является неопределенной и не может быть решена одними средствами внутренней баллистики. Поэтому ее необходимо сузить, задаваясь некоторыми из указанных величин, например, максимальным давлением пороховых газов, длиной ствола и коэффициентом бутылочности. Однако и в таком виде задача имеет множество решений, вариантов условий заряжания, из которых надлежит выбрать такой, который в лучшей степени удовлетворяет поставленным требованиям.

В качестве критериев оценки вариантов решения иногда используются так называемые характерные варианты, к которым относятся: вариант с наименьшим весом заряда; вариант с наименьшим объемом каморы заряжания; вариант с наименьшим объемом канала ствола; вариант с наивыгоднейшей плотностью заряжания (имеет наибольшую начальную скорость пули при заданных максимальном давлении газов и длине ствола) и т. д.

---

* При решении задач выбора условий заряжания не делается разницы между дульной и начальной скоростью пули.

Практический интерес при проектировании стрелкового оружия и малокалиберных автоматических пушек представляют характерные варианты с наименьшим объемом камеры и наименьшим весом заряда. Обычно между этими вариантами и находятся наиболее приемлемые варианты условий заряжания.

Существует несколько различных методов решения задачи выбора условий заряжания (баллистического проектирования). Однако в большинстве случаев они отражают специфику артиллерийских орудий. Специфика стрелкового оружия и малокалиберных автоматических пушек наиболее полно учитывается в методе проф. Д. А. Вентцеля. Далее излагается этот метод с использованием таблиц ГАУ, ч. IV — таблиц баллистического расчета (ТБР), как наиболее распространенных (см. приложение 1, табл. 4).

4.2. ВЫВОДЫ РАБОЧИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ

Длина канала ствола имеет следующую связь с условиями заряжания:

$$\frac{L_{кн}}{d} = \frac{l_д}{d} + \frac{l_{км}}{d} = \frac{l_0}{d}\left(\lambda_д + \frac{1}{\psi^2}\right),$$

где l_0 — приведенная длина каморы;

$\lambda_д = \frac{l_д}{l_0}$ — число объемов расширения;

$\psi^2 = \frac{l_0}{l_{км}}$ — уширение каморы;

$l_{км}$ — истинная длина каморы (рис. 27).

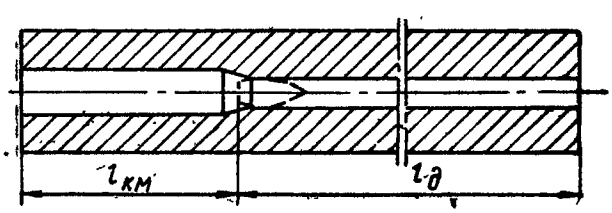


Рис. 27. Схема канала ствола

Учтя, что

$$\frac{l_0}{d} = \frac{W_0}{n_s d^2 d} = \frac{\omega}{n_s d^3 \Delta} = \frac{1}{n_s} c_q \frac{\omega}{q} \frac{1}{\Delta},$$

получим

$$\frac{L_{кн}}{d} = \frac{1}{n_s} c_q \frac{\omega}{q} \frac{1}{\Delta}\left(\lambda_д + \frac{1}{\psi^2}\right), \qquad (4.2.1)$$

где $\Delta = \frac{\omega}{W_0}$ — плотность заряжания;

W_0 — объем каморы.

Наряду с зависимостью (4.2.2) придется пользоваться таблицами ГАУ, ч. IV (см. приложение 1, табл. 4). Содержанием этих таблиц является табличная скорость ($v_{\text{табл}}$). Переход к дульной скорости осуществляется путем умножения табличной скорости на величину $\sqrt{\frac{\omega}{\varphi q}}$. Учитывая, что коэффициент фиктивности массы пули

$$\varphi = a + b\frac{\omega}{q},$$

можно получить еще такую зависимость, которой придется пользоваться,

$$\frac{\omega}{q} = \frac{a}{\left(\frac{v_{\text{табл}}}{v_{\text{д}}}\right)^2 - b}, \qquad (4.2.2)$$

здесь $a=1{,}1$; $b=0{,}28$ (по Э. А. Горову).

4.3. ВЫБОР ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Как было указано в параграфе 4.1, приходится задаваться значениями $p_{\max}$, $L_{\text{кн}}$ и ψ. Эти величины выступают как исходные данные (наряду с c_q и $v_{\text{д}}$) для выбора условий заряжания. Исходя только из соображений баллистики, максимальное давление газов выгодно иметь наибольшим, так как с увеличением давления уменьшается длина ствола, а при заданной длине ствола уменьшается вес заряда и объем каморы заряжания. Однако другие соображения вынуждают ограничивать максимальный уровень давления газов. При больших давлениях труднее обеспечивается прочность стенок ствола, приходится выбирать материал с высокими характеристиками прочности, увеличивать поперечные размеры ствола и прибегать к искусственным приемам увеличения прочности — делать ствол двухслойным (скрепление) или осуществлять автоскрепление (автофретаж).

С увеличением максимального давления газов повышается износ поверхности канала ствола, уменьшается живучесть ствола, что иногда приводит к необходимости применять для стволов дорогостоящие специальные стали, а также усложняются условия обеспечения прочности отдельных элементов пули, в частности, оболочки. Самое же главное то, что с увеличением давления газов труднее, а иногда совсем невозможно добиться простыми методами высокой безотказности действия автоматического оружия из-за нарушения прочности или нормальной экстракции гильзы из патронника после выстрела, прорыва пороховых газов через капсюль и т. д. Поэтому в настоящее время в автоматическом оружии стараются не применять давлений больше 3200 кгс/см^2, ограничиваясь зачастую давлениями 2800—3000 кгс/см^2.

Задавшись максимальным давлением газов, следует задаться длиной канала ствола. Исходя из соображений баллистики, выгодно иметь возможно большую длину ствола, так как с увеличением длины ствола при заданной дульной энергии пули и заданном максимальном давлении газов можно обойтись меньшим зарядом, а при заданном заряде можно иметь меньшее максимальное давление газов. При этом уменьшается дульное давление, ослабляется действие звука и пламенность выстрела. Оружие с длинным стволом менее чувствительно к случайным изменениям различных факторов, влияющих на начальную скорость пули.

Самым существенным соображением, вынуждающим крайне ограничивать длину ствола, является требование иметь малогабаритное, высоко маневренное оружие. Образцы стрелкового оружия в большинстве своем имеют длину ствола в пределах 75—100 калибров. Исключение составляет большинство автоматов, длина ствола у которых существенно меньше. Так, например, существующие образцы оружия имеют длину ствола: автомат Калашникова (АКМ) — 54,5, ручной пулемет Калашникова (РПК) — 77,5, пулемет Калашникова (ПК) — 79,4, самозарядная винтовка Драгунова (СВД) — 81,3 и крупнокалиберный пулемет Владимирова (КПВ) — 93 калибра.

Уширение каморы патрона (бутылочность) берется исходя из существующей практики*. Имея приведенную длину каморы l_0 и истинную длину каморы $l_{км}$, можно определить коэффициент бутылочности

$$\psi = \sqrt{\frac{l_0}{l_{км}}}.$$

Обозначив диаметр внутренней поверхности корпуса гильзы в среднем сечении $d_{0ср}$, наружный диаметр $d_{ср}$ и диаметр дульца $d_д$, можно получить еще такое выражение:

$$\psi = \frac{d_{0\,ср}}{d} = \frac{d_{ср}}{d_д}.$$

Так можно определить бутылочность для существующих патронов. Для ориентировочного выбора бутылочности проектируемого патрона можно воспользоваться зависимостью, полученной из условия минимального веса оружия,

$$\psi = 1{,}1\sqrt[3]{\frac{l_0}{l_п}}.$$

Патроны стрелкового оружия в большинстве своем имеют бутылочность порядка $\psi = 1{,}2—1{,}4$ в зависимости от мощности патрона.

---

* О бутылочности подробно см. параграф 9.2

4.4. ПОРЯДОК РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА УСЛОВИЙ ЗАРЯЖАНИЯ

Можно рекомендовать следующий порядок получения данных для выбора условий заряжания.

1. Задаться несколькими значениями (не менее трех) плотности заряжания Δ и числа объемов расширения $\lambda_д$, учитывая существующую практику.

2. С помощью величин p_{max}, $\lambda_д$, Δ по таблицам внутренней баллистики, ч. IV (ТБР) (см. приложение 1, табл. 4) определить значения табличной скорости $v_{табл}$.

3. По найденным значениям табличной скорости и заданному значению дульной скорости $v_д$, пользуясь выражением (4.2.2), определить значения относительного веса заряда $\frac{\omega}{q}$.

4. Пользуясь полученными значениями относительного веса заряда и принятым значением коэффициента бутылочности ψ, определить по выражению (4.2.1) значения длины канала ствола.

Значения табличной скорости $v_{табл}$, взятые из ТБР, а также значения относительного веса заряда $\frac{\omega}{q}$ и длины канала ствола $L_{кн}$ целесообразно заносить в форму расчета в следующем виде.

$$v_{табл}\ \left(\frac{\omega}{q},\ L_{кн}\right)$$

$\lambda_д$	Δ_1	Δ_2	Δ_3	Δ_4
$\lambda_{д1}$				
$\lambda_{д2}$				
$\lambda_{д3}$				
$\lambda_{д4}$				

Это позволяет упорядочить работы и обнаружить явные ошибки в вычислениях. Во избежание лишней работы целесообразно сначала получить данные только одной строки во всех столбцах для разных значений плотности заряжания. Это нужно для того, чтобы проверить, насколько удачно задались значениями $\lambda_д$, что

обнаружится при построении зависимости $\frac{L_{кн}}{d_0} = f(\Delta)$ для данного $\lambda_д$ (рис. 28). Полученные кривые должны пересекаться горизонтальной линией *nn*, отвечающей заданной длине канала. Если первая полученная кривая расположится выше или ниже линии *nn*, то следующие значения $\lambda_д$ надо брать соответственно меньше или больше. Строя кривые по точкам, нельзя допускать их резких перегибов, общую картину кривых следует сгладить, сделать плавной.

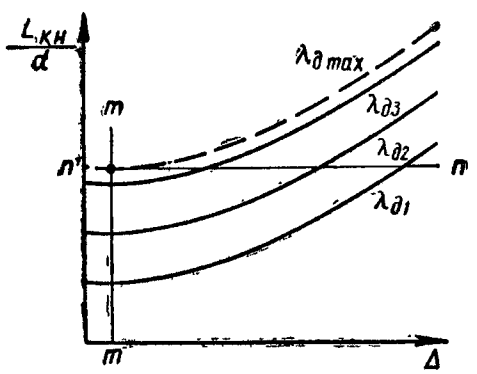


Рис. 28. Зависимость длины канала ствола от плотности заряжания ($\lambda_{д1} < \lambda_{д2} < \lambda_{д3}$)

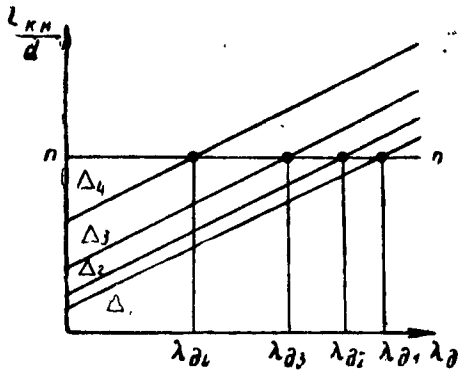


Рис. 29. Изменение длины канала ствола в зависимости от числа объемов расширения

5. Воспользовавшись рис. 28, построить зависимость длины канала от $\lambda_д$ (рис. 29). Для этого на рис. 28 следует провести несколько вертикальных линий, отвечающих определенным значениям плотности заряжания, и для каждой плотности определить точки кривых, отвечающие различным значениям $\lambda_д$. На рис. 29 по полученным точкам построить линии. Их будет столько, сколько значений плотности заряжания отметили на предыдущем рисунке. Точки пересечения этих линий с горизонтальной прямой *nn* дают пары значений Δ и $\lambda_д$, отвечающих заданной длине канала.

6. По полученным парам значений Δ и $\lambda_д$ найти в ТБР соответствующие им значения $v_{табл}$ и $\lambda_к$.

7. По этим же значениям Δ и $\lambda_д$, а также по найденным для них значениям $v_{табл}$, $\lambda_к$ и заданной дульной скорости $v_д$ определить:

$$\omega = \frac{a}{\left(\frac{v_{табл}}{v_д}\right)^2 - b} q; \qquad W_0 = \frac{\omega}{\Delta}; \qquad \frac{l_к}{l_д} = \frac{\lambda_к}{\lambda_д};$$

где $l_к$ — путь пули в канале к моменту конца горения порохового заряда.

Для наглядности рекомендуется построить кривые ω, W_0 и $\frac{l_к}{l_д}$ в зависимости от Δ (рис. 30).

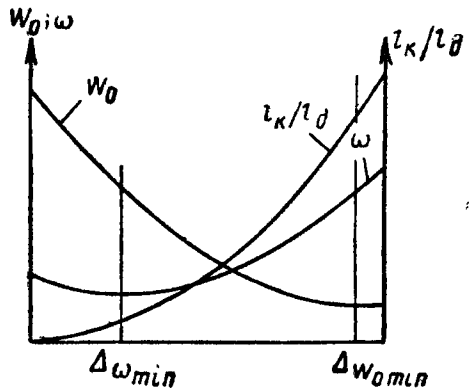


Рис. 30. Зависимость веса заряда, объема каморы и положения конца горения от плотности заряжания

Вариант условий заряжания выбирается в промежутке между вариантами с ω_{min} и W_{0min} так, чтобы отношение $\frac{l_к}{l_д}$ не превосходило 0,6—0,7. Оно ограничивается по следующим соображениям. В таблицах ГАУ значения $\lambda_к$ вычислены для геометрического закона горения при условии одновременного воспламенения и догорания всех пороховых зерен. В действительности эти значения всегда больше. Поэтому при больших значениях отношения $\frac{l_к}{l_д}$ может быть неполное сгорание части пороховых зерен в канале и, как следствие этого, увеличенный разброс значений начальной скорости пули и большое рассеивание пуль.

В тех случаях, когда не ставятся жесткие требования получить минимальные размеры патрона (минимальный объем каморы), выбирать вариант с очень большой плотностью заряжания не рекомендуется. Некоторый запас в объеме каморы необходимо на случай ухудшения качества пороха (случай, характерный для военного времени) и увеличения в связи с этим веса заряда для получения необходимой начальной скорости пули, а также на случай разработки новых конструкций пуль. С увеличением, например, длины пули потребуется более глубокая посадка ее в дульце гильзы и уменьшение объема каморы заряжания.

8. Для выбранного варианта условий заряжания надлежит подобрать марку пороха. Для этого подсчитывается импульс пороховых газов в конце горения

$$I_к = d\,\frac{c_q}{n_s}\sqrt{\frac{Bf\,\frac{\omega}{q}\,\varphi}{g}}, \qquad (4.4.1)$$

где B — параметр заряжания (его значения даются в таблицах ГАУ);

f — сила пороха, значения которой порядка 900 000—1 000 000 кгс·дм/кг для пироксилиновых и 900 000—1 200 000 кгс·дм/кг для нитроглицериновых порохов (в таблицах ГАУ принято f=950 000 кгс·дм/кг).

По импульсу можно определить необходимую толщину горящего свода пороха

$$2e_1 = 2I_к u_1,$$

где u_1 — скорость горения пороха при нормальном давлении, равная $0{,}6 \cdot 10^{-5}$—$0{,}9 \cdot 10^{-5}$ дм·дм²/с·кгс для пироксилиновых порохов и $0{,}7 \cdot 10^{-5}$ — $1{,}5 \cdot 10^{-5}$ для нитроглицериновых.

Если нельзя подобрать порох с данным импульсом из существующих порохов, а новый порох не проектируется, то можно составить смешанный заряд из двух порохов с близкими импульсами, пользуясь соотношением

$$\frac{1}{I_к} = \frac{\omega_1}{\omega}\frac{1}{I_{к1}} + \frac{\omega_2}{\omega}\frac{1}{I_{к2}},$$

где ω_1, ω_2 — веса частей заряда смешиваемых порохов;

$I_{к1}$, $I_{к2}$ — импульсы смешиваемых порохов.

4.5. ПОПРАВОЧНЫЕ ФОРМУЛЫ проф. В. Е. СЛУХОЦКОГО

В ряде случаев при баллистическом проектировании и практическом подборе зарядов используются поправочные формулы В. Е. Слухоцкого. Они позволяют определить изменение максимального давления пороховых газов и начальной скорости пули в зависимости от изменения различных параметров и имеют следующий вид:

$$\frac{\Delta p_{max}}{p_{max}} = m_x \frac{\Delta x}{x}; \qquad (4.5.1)$$

$$\frac{\Delta v_д}{v_д} = l_x \frac{\Delta x}{x}, \qquad (4.5.2)$$

где x — изменяющийся параметр (вес заряда, вес пули, объем каморы, сила пороха, импульс пороховых газов);

m_x, l_x — поправочные коэффициенты.

Для поправочных коэффициентов составлены таблицы, которые в сокращенном виде приводятся в приложении 1, табл. 3. Значения коэффициентов для плотности заряжания 0,9 получены экстраполированием таблиц профессора Слухоцкого.

Изменяя какой-нибудь параметр или несколько параметров, можно проследить, как изменяются максимальное давление газов и начальная скорость пули. Поправочные формулы и таблицы поправочных коэффициентов к ним позволяют также оценить разброс p_{max} и $v_д$ в зависимости от разброса различных параметров патрона в производстве.

4.6. ПОДБОР ЗАРЯДОВ

Пороховой заряд для каждой марки (партии) пороха уточняется опытным путем. Эта процедура называется подбором заряда и производится по величине скорости пули, установленной техническими условиями на данный порох, при баллистических испытаниях партии пороха.

Пули и капсюлированные гильзы для снаряжения патронов должны удовлетворять требованиям, предъявляемым к элементам для снаряжения образцовых патронов. При этом гильзы должны храниться в герметической укупорке. Пули, гильзы и порох до снаряжения патронов должны выдерживаться не менее суток в помещении, где температура постоянно поддерживается в пределах от +15 до +30°С с колебанием не более ±2°С.

При подборе заряда патроны снаряжаются смесью пороха из трех выемок, взятых из трех различных ящиков с герметической укупоркой. Предварительный вес заряда устанавливается по предыдущему опыту или баллистическому решению. С ним производится одноразовая стрельба с замером скорости v_x. В зависимости от результатов стрельбы делается корректировка заряда по формуле проф. В. Е. Слухоцкого

$$\Delta\omega = \frac{\omega}{l_\omega}\,\frac{\Delta v_x}{v_x},$$

где v_x — скорость пули, полученная при стрельбе с зарядом ω, который требует корректировки;

Δv_x — требуемая поправка к скорости пули;

l_ω — поправочный коэффициент.

После каждой корректировки веса заряда производится проверка скорости пули одноразовой стрельбой до получения отклонения скорости от установленной техническими условиями не более ±5 м/с. В пределах этого отклонения скорости производится корректировка заряда до номинальной скорости по ТУ. Полученный заряд считается подобранным. Им и снаряжаются патроны.

При подобранном заряде производится стрельба с целью определения стабильности скорости пуль и максимального давления пороховых газов. Для проверки стабильности скорости пуль снаряжаются три группы патронов (по 10 штук в каждой) порохом

отдельно из каждой выемки. Стрельба производится через выстрел с образцовыми патронами. Средняя скорость пуль по результатам стрельбы патронами с порохом из трех выемок не должна отличаться от установленной техническими условиями на порох для большинства номенклатур более чем на ±5 м/с. Разности между средними скоростями пуль и между наибольшим и наименьшим значениями скорости должны удовлетворять техническим условиям.

Максимальное давление пороховых газов определяется одноразовой стрельбой патронами, снаряженными тем же зарядом, с которым производилась стрельба на определение скорости, из той выемки пороха, из которой снаряжались патроны, показавшие при стрельбе наибольшую среднюю скорость, а при равных скоростях — наибольшую разность скорости при отдельных выстрелах в баллистической группе. В полученные значения максимального давления пороховых газов вводятся поправки на температуру заряда и баллистическую характеристику оружия. После введения поправок максимальное давление пороховых газов должно удовлетворять техническим условиям на порох.

Подбор заряда опытного пороха и баллистические испытания его производятся аналогичным образом с той лишь разницей, что максимальное давление пороховых газов определяется стрельбой патронами, снаряженными порохом от всех трех выемок.

4.7. ДАВЛЕНИЕ ПОРОХОВЫХ ГАЗОВ

Для решения ряда задач при проектировании и исследовании оружия и патронов необходимо знать не только максимальное давление пороховых газов в канале ствола p_{max}, но и весь процесс изменения давления в зависимости от пути пули в стволе $p(x)$ или от времени $p(t)$. При этом различают баллистическое давление, значения которого связаны с элементами движения пули (снаряда) по каналу ствола и приводятся в таблицах внутренней баллистики (это обычно так называемое крешерное давление), и действительное давление, реально действующее на детали оружия и патрона при выстреле. Баллистическим давлением пользуются при решении задач внутренней баллистики, а действительным — при расчетах элементов движения автоматики оружия, прочности стволов и боеприпасов, экстракции гильз и т. п.

В различных точках заснарядного (запульного) пространства величины действительного давления в каждый момент времени различны: наибольшее у дна каморы и наименьшее у дна снаряда (пули). Соотношения величин давления у дна каморы и дна снаряда (пули), а также баллистического и действительного давления у стрелкового оружия изучены недостаточно, поэтому обычно пользуются в расчетах значениями баллистического (крешерного)

давления, какие приводятся в таблицах ГАУ. Если при этом сила пороха f отличается от принятой в таблицах ГАУ (950000 кгс·дм/кг), то в величины давления вводится поправка по формуле

$$p = \frac{f}{950000} p_{\text{табл}}.$$

Характер изменения давления пороховых газов в канале ствола меняется в зависимости от исходной температуры заряда. С повышением температуры заряда повышается максимальное давление газов и понижается дульное давление, а с понижением температуры заряда, наоборот, понижается максимальное давление и повышается дульное. Учитывая это, для расчета стволов артиллерийских орудий, например, рассчитывают кривые давления газов при температурах заряда +15, +40 и —40°С, а затем строят их огибающую, которую и принимают за расчетную кривую давления пороховых газов.

У стрелкового оружия и малокалиберных автоматических пушек повышение дульного давления при температуре заряда —40°С незначительно и не имеет практического значения для обеспечения прочности стволов, запас прочности которых в дульной части обычно достаточно велик. Поэтому вычисления можно сократить и строить только одну кривую давления пороховых газов при температуре заряда +40°С. Эта кривая отвечает наиболее неблагоприятному случаю с точки зрения как прочности деталей оружия и патрона при выстреле (большое максимальное давление газов), так и надежности работы автоматики (небольшой импульс давления в газовой каморе).

Учет температуры заряда осуществляется путем вычисления поправки к максимальному давлению газов.

$$\Delta p_{\max} = m_t p_{\max} \Delta t,$$

где m_t — поправочный коэффициент;
$\Delta t = 40 - 15 = 25$°С — изменение температуры заряда.

Значения поправочного коэффициента, полученные на основе таблиц поправочных коэффициентов проф. В. Е. Слухоцкого, приводятся в табл. 3. Взяв теперь новое максимальное давление газов

$$p'_{\max} = p_{\max} + \Delta p_{\max},$$

и пользуясь таблицами внутренней баллистики ГАУ, ч. 1 (см. приложение 1, табл. 5), можно получить все данные для построения кривой давления газов в зависимости от пути пули в канале ствола $p(x)$. Для заданной плотности заряжания Δ, пользуясь соответствующей таблицей и производя интерполирование на заданное $p_{\max}$, можно найти параметр заряжания B. Производя теперь интерпо-

лирование на полученное значение параметра B при различных значениях λ и учитывая, что $x=l_0\lambda$, получаем искомую зависимость $p(x)$.

Таблица 3

Значения поправочного коэффициента m_t

p_{max}, кгс/см²	Δ, гс/см³				
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
2000	0,0040	0,0038	0,0036	0,0034	0,0031
2500	0,0040	0,0039	0,0038	0,0036	0,0034
3000	0,0040	0,0040	0,0039	0,0038	0,0036
3500	0,0039	0,0041	0,0040	0,0039	0,0037
4000	0,0037	0,0040	0,0040	0,0039	0,0038
4500	0,0034	0,0038	0,0040	0,0040	0,0039

Аналогичным образом можно построить кривые скорости пули $v(x)$ и времени ее движения $t(x)$. Имея эти данные, можно построить кривую давления в зависимости от времени $p(t)$.

4.8. ОПЫТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ПОРОХОВЫХ ГАЗОВ

Измерение давления пороховых газов как силы, приходящейся на единицу поверхности, основывается на тех же принципах, что и измерение силы, которая может проявлять себя в статических или динамических условиях. В первом случае сила действует на неподвижное тело, вызывает со стороны этого тела равную себе силу противодействия и упругую или пластическую деформацию его. Во втором случае сила выводит тело из состояния покоя или изменяет его движение, сообщая ему ускорение.

В соответствии с этим и методы измерения сил (давлений) могут быть статические и динамические. Широкое применение для измерения давления пороховых газов в канале ствола получили статические методы. К ним относятся: пьезоэлектрический метод; метод упругих деформаций или цензометрический метод; метод пластических деформаций, к которому относится крешерный метод измерения давления, получивший широкое применение в промышленности и на полигонах. Он основан на измерении пластической (остаточной) деформации медного цилиндрического или цилиндроконического столбика (крешера), которую он получает под действием измеряемого давления. Крешерный столбик (крешер) перед

стрельбой устанавливается в крешерном приборе (рис. 31), который крепится на стволе оружия с помощью хомута, в который ввинчивается прибор.

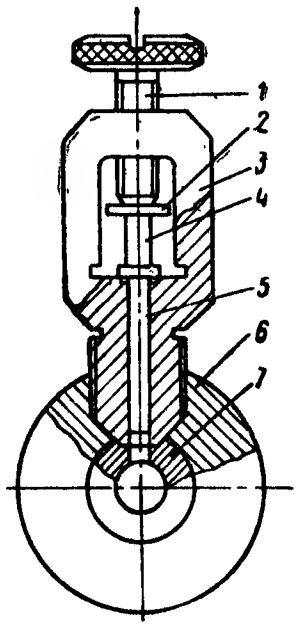


Рис. 31. Схема ввинтного крешерного прибора:
1 — опорный винт; *2* — планка; *3* — корпус; *4* — крешер; *5* — поршень; *6* — хомут; *7* — ствол

В артиллерийской практике применяются медные цилиндрические крешеры, размеры которых и пределы тарирования приводятся в табл. 4.

Таблица 4

Размеры крешеров и пределы их тарирования

Размеры (диаметр× высота), мм	Площадь сечения поршня $s_к$, см^2	Пределы тарирования		Шаг тарирования ΔQ, кгс	Допускаемое отклонение высоты после обжима, мм
		Q, кгс	p_{max}, кгс/см^2		
3×4,9	0,2	80—440	400—220	20(40)	±0,03
4×6,5	0,2	200—780	1000—3900	50(40)	±0,03
5×8,1	0,2(0,5)	300—1100	1500—5500	100(40)	±0,04
6×9,8	0,5	700—1800	1400—3600	100	±0,05
8×13	0,5	2000—3000	4000—6000	100	±0,06
8×13	1,0	1200 –3800	1200—3800	200	±0,06
10×15	1,0	3000—4000	3000—4000	200	±0,06

Для измерения давления пороховых газов в стрелковом оружии используются крешеры размерами 3×4,9 и 4×6,5 мм, изготовленные с отклонением размеров по диаметру и высоте не более

±0,01 мм. На каждую партию крешеров составляется таражная таблица, устанавливающая зависимость давления p от величины обжатия Δh столбиков на прессе (табл. 5). Давление определяется по усилию обжатия Q и площади поперечного сечения поршня $s_к$ крешерного прибора

$$p = \frac{Q}{s_к} .$$

Таблица 5

Таражная таблица, составленная по методу последовательного обжатия крешеров (размеры крешера 4×6,5 мм, сечение поршня 0,2 см²)

Δh, мм	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	—	h, мм
0,3	1007	1020	1033	1046	1059	1072	1086	1099	1112	1125	1138	6,1
0,4	1138	1150	1163	1175	1188	1200	1212	1225	1237	1250	1262	6,0
0,5	1262	1274	1285	1297	1309	1320	1332	1344	1356	1367	1379	5,9
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,5	3314	3326	3339	3351	3363	3376	3388	3400	3412	3425	3437	3,9
2,6	3437	3450	3462	3475	3487	3500						3,8
Δh, мм	—	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	h, мм

По этой таблице и измеренной величине обжатия крешера при выстреле и определяется максимальное давление пороховых газов.

Ввиду разной скорости обжатия крешеров при выстреле (доли секунды) и при тарировании (обычно 10 с) крешерный метод измерения показывает заниженные на 10—20% значения давления в сравнении с истинными значениями. Для уменьшения влияния скорости нарастания давления на результаты измерений и для учета индивидуальных качеств каждого крешера они предварительно обжимаются давлением, которое должно быть меньше ожидаемого среднего давления на 300—400 кгс/см².

Для отдельных видов патронов величины давления предварительного обжатия крешеров следующие, кгс/см²: 600 для 7,62-мм револьверных 1 600 для 7,62-мм пистолетных; 800 для 9-мм пистолетных; 2 200 для 7,62-мм автоматных (обр. 1943 г.), 2 300 для 7,62-мм винтовочных; 2 500 для 12,7-мм; 2 800 для 14,5-мм. При этом определяется поправка на индивидуальные качества каждого крешера Δp как разность между давлением предварительного обжатия $p_п$ и давлением по таражной таблице $p_т$, отвечающим предварительному обжатию,

$$\Delta p = p_п - p_т.$$

Крешерный прибор с крешером размещается на крешерном баллистическом оружии над корпусом гильзы со сверлением или без сверления стенки последней или непосредственно за срезом гильзы. Все это, также как подготовка и проверка патронов, баллистического крешерного оружия и крешерных приборов, оговаривается в специальных инструкциях.

Для определения максимального давления газов делается десять зачетных выстрелов, чередуя их через выстрел с образцовыми патронами. Предварительно делается один прогревной (незачетный) выстрел (пистолетными патронами — два прогревных выстрела). По результатам измерения высот крешерных столбиков после каждого выстрела с помощью таражной таблицы находятся значения максимального давления p_x. В найденные значения давления для каждого выстрела вводится поправка Δp на индивидуальные качества каждого крешера по результатам предварительного обжатия крешеров $p_{max}=p_x+\Delta p$. Учитывается знак поправки.

По десяти зачетным выстрелам определяется среднее арифметическое, наибольшее и наименьшее значения максимального давления, а также разность между наибольшим и наименьшим значениями. К среднему, наибольшему и наименьшему значениям давления вводятся поправки на температуру заряда и баллистическую характеристику оружия.

Поправки к давлению на температуру заряда определяются по таблицам поправочных коэффициентов (см. табл. 3) или по специальным таблицам, составленным на их основе (приложение 1, табл. 5). За температуру заряда принимается температура воздуха в помещении, где выдерживались патроны перед стрельбой, нормальной считается температура +20°С.

Поправка на баллистическую характеристику оружия определяется как разность между средним максимальным давлением, установленным для образцовых патронов, и средним максимальным давлением образцовых патронов, полученным при испытании.

Среднее, наибольшее и наименьшее значения максимального давления пороховых газов с учетом поправок на температуру заряда и баллистическую характеристику оружия, а также разность между наибольшим и наименьшим значениями давления являются окончательными характеристиками баллистической группы патронов по результатам стрельбы.

Скорость пуль и максимальное давление пороховых газов могут определяться не только при раздельной стрельбе, т. е. отдельно из скоростного и крешерного баллистического оружия, но и одновременно при стрельбе из крешерного оружия.

ПРИМЕРЫ

Пример 4.1. Подобрать условия заряжания для следующего варианта внешнебаллистического решения: $d_0=7{,}62$ мм; $q=9{,}6$ гс; $v_д=815$ м/с.

Решение

Примем $p_{max}=3000$ кгс/см^2; $\frac{L_{кн}}{d_0}=70$ и $\psi=1{,}2$. Зададимся четырьмя значениями плотности заряжания Δ и пятью значениями числа объемов расширения $\lambda_д$. По значениям Δ, $\lambda_д$, p_{max} находим в ТБР значения $v_{табл}$ и записываем их в форму такого вида:

$$v_{табл}=v_д\sqrt{\frac{\varphi q}{\omega}}$$

Δ, гс/см^3	$\lambda_д$				
	5	5,5	6	6,5	7
0,65	1654	1689	1720	1747	1772
0,70	1621	1657	1689	1718	1774
0,75	1576	1612	1645	1675	1703
0,80	1521	1561	1597	1629	1657

По формуле (4.2.2), подставив значения $v_д$ и $v_{табл}$, определяем значения $\frac{\omega}{q}$ и заносим их в такую же форму:

$$\frac{\omega}{q}=\frac{1{,}1}{(v_{табл}/v_д)^2}-0{,}28$$

Δ, гс/см^3	$\lambda_д$				
	5	5,5	6	6,5	7
0,65	0,286	0,275	0,264	0,255	0,248
0,70	0,300	0,286	0,275	0,265	0,256
0,75	0,318	0,304	0,290	0,279	0,269
0,80	0,344	0,324	0,310	0,296	0,286

По полученным значениям $\frac{\omega}{q}$, пользуясь выражением (4.2.1), подсчитаем значения длины канала ствола. Вычисления производим по этапам с помощью логарифмической линейки, приняв $\psi = 1{,}2$:

$$\frac{L_{кн}}{d} = \frac{l_0}{d}\left(\lambda_д + \frac{1}{\psi^2}\right) = \frac{l_0}{d}\left(\lambda_д + 0{,}695\right)$$

Δ, гс/см³	$\lambda_д$				
	5	5,5	6	6,5	7
0,65	66,0	69,0	71,6	74,5	77,5
0,70	64,3	66,5	69,3	72,0	75,0
0,75	63,5	66,0	68,0	70,5	72,5
0,80	64,3	66,0	68,3	70,0	72,3

Используя полученные значения $L_{кн}$, строим зависимость длины канала ствола от плотности заряжания, добиваясь плавности и общей закономерности кривых (рис. 32). Затем задаемся значениями плотности заряжания (берем те же значения, что и ранее), определяем для них по рис. 32 значения длины канала при каждом $\lambda_д$ и строим другие зависимости (рис. 33).

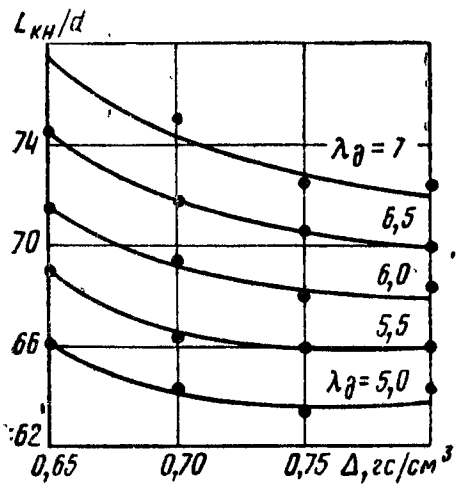


Рис. 32. Зависимость длины канала ствола от плотности заряжания

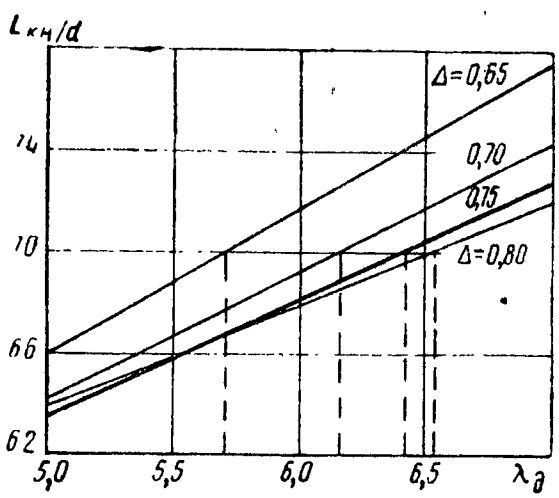


Рис. 33. Зависимость длины канала ствола от числа объемов расширения

Находим точки пересечения кривых рис. 33 с горизонтальной прямой, соответствующей длине канала 70 калибров. Этим точкам соответствуют следующие пары значений Δ и $\lambda_д$:

Δ, гс/см³ . . .	0,65	0,70	0,75	0,80
$\lambda_д$	5,70	6,16	6,42	6,54

По этим парам значений Δ и $\lambda_д$ в ТБР находим значения $v_{табл}$ для p_{max} = =3000 кгс/см², которые соответствуют уже заданной длине ствола (табл. 6). По $\lambda_д$ приходится производить интерполирование. Заодно выписываем из таблицы и значения $\lambda_к$.

Таблица 6

Значения $v_{табл}$, $\lambda_к$

Δ, гс/см³	$\lambda_д$	$v_{табл}$, м/с	$\lambda_к$
0,65	5,5	1689	1,995
	5,70	1701	
	6,0	1720	
0,70	6,0	1689	2,616
	6,16	1698	
	6,5	1718	
0,75	6,0	1645	3,575
	6,42	1670	
	6,5	1675	
0,80	6,5	1629	5,159
	6,54	1631	
	7,0	1657	

Таблица 7

Значения ω, W_0, $l_к/l_д$

Δ, гс/см³	ω, гс	W_0, см³	$\frac{l_к}{l_д}$
0,65	2,60	4,00	0,350
0,70	2,61	3,73	0,423
0,75	2,69	3,59	0,556
0,80	2,84	3,55	0,788

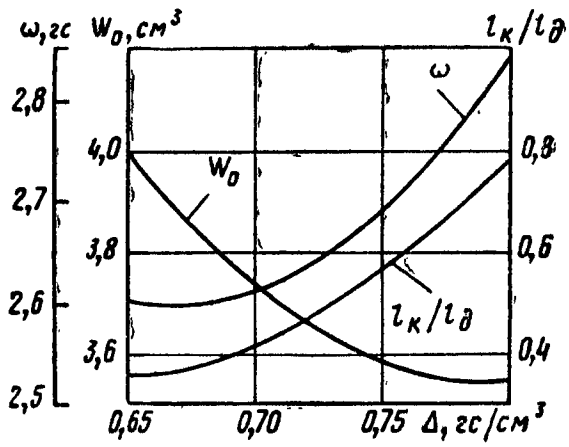


Рис. 34. Зависимость веса заряда, объема каморы и положения конца горения от плотности заряжания

Пользуясь данными табл. 6, определяем значения веса заряда

$$\omega = \frac{a}{(v_{табл}/v_д)^2 - b} q,$$

объема каморы заряжания $W_0 = \frac{\omega}{\Delta}$ и относительного положения конца горения пороха $\frac{l_к}{l_д} = \frac{\lambda_к}{\lambda_д}$, которые представлены в табл. 7 и на рис. 34.

Как видно из рисунка, подходящим вариантом является вариант с плотностью заряжания порядка 0,75 гс/см³. Дальнейшее увеличение плотности заряжания не имеет смысла, так как объем каморы уже практически не уменьшается. Вес заряда при этом небольшой и гарантировано его полное сгорание

в канале ствола. Сравнительно небольшая плотность заряжания обеспечивает возможность увеличения веса заряда и конструирования других типов пуль.

Определив в ТБР для плотности заряжания 0,75 гс/см^3 и давления 3000 кгс/см^2 величину $B=2{,}302$ и приняв силу пороха $80\cdot10^4$ кгс·дм/кг, вычисляем по выражению (4.4.1) значение импульса пороха

$$I_к = 0{,}0762\frac{21{,}6}{0{,}82}\sqrt{\frac{2{,}302\cdot80\cdot3{,}6\cdot1{,}18}{9{,}6\cdot98{,}1}}\,10^2 = 183 \text{ кгс}\cdot\text{с/дм}^2,$$

по которому можно подобрать марку пороха.

Приняв скорость горения пороха $u_1=0{,}8\cdot10^{-5}$ дм·м^2/с·кгс, имеем толщину горящего свода

$$2e_1 = 2I_к u_1 = 2\cdot183\cdot0{,}8\cdot10^{-5} = 293\cdot10^{-5} \text{ дм} = 0{,}293 \text{ мм}.$$

Такую толщину горящего свода имеет порох марки ВТ, он и подходит в данном случае.

Пример 4.2. Определить, как изменится максимальное давление газов и начальная скорость пули, если в предыдущем примере объем каморы увеличить до 4 см^3 при сохранении плотности заряжания.

Решение

Определяем изменение объема каморы

$$\Delta W_0 = 4 - 3{,}59 = 0{,}41 \text{ см}^3.$$

Вес нового заряда и изменение веса заряда составят:

$$\omega = 4\cdot0{,}75 = 3 \text{ гс},$$

$$\Delta\omega = 3 - 2{,}69 = 0{,}31 \text{ гс}.$$

По таблицам (см. приложение 1, табл. 3) находим поправочные коэффициенты: $m_{W_0}=1{,}82$; $m_\omega=2{,}65$.

Для $\lambda_д=6{,}42$ находим $l_{W_0}=0{,}21$, $l_\omega=0{,}77$.

По выражению (4.5.1) подсчитаем изменение давления газов, учитывая, что увеличение объема уменьшает давление, а увеличение веса заряда — повышает:

$$\frac{\Delta p_{max}}{p_{max}} = -1{,}82\frac{0{,}4}{3{,}6} + 2{,}65\frac{0{,}3}{2{,}7} = 0{,}092;$$

$$\Delta p_{max} = 0{,}092\,p_{max} = 0{,}092\cdot3000 = 276 \text{ кгс/см}^2.$$

Максимальное давление газов будет не 3000, а 3276 кгс/см^2.

По выражению (4.5.2) определяем изменение начальной скорости пули, также учитывая характер влияния изменения объема каморы и заряда:

$$\frac{\Delta v_д}{v_д} = -0{,}21\frac{0{,}4}{3{,}6} + 0{,}77\frac{0{,}3}{2{,}7} = 0{,}0622;$$

$$\Delta v_д = 0{,}0622\,v_д = 0{,}0622\cdot815 = 50{,}7 \text{ м/с}.$$

Начальная скорость пули будет не 815, а 865,7 м/с.

Пример 4.3. Построить по данным примера 4.1 кривые давления газов и скорости пули в канале ствола.

Решение

Для плотности заряжания $\Delta = 0{,}75$ гс/см^3 и $p_{max} = 3000$ кгс/см^2 в нижней строке таблицы ГАУ, ч. I (см. приложение 1, табл. 4) находим $B = 2{,}3$. В данном случае интерполирование по B не требуется, так как принятое давление и табличное его значение для $B = 2{,}3$ различаются всего на 1 кгс/см^2.

Вычерчиваем форму расчета и записываем в нее из таблиц ГАУ ч. I, II и III значения p, $v_{табл}$ (приложение 1, табл. 5, 6), $t_{табл}$ (табл. 8).

Таблица 8

Давление, скорость, время

λ	x, см	p, кгс/см^2	$v_{табл}$, м/с	v, м/с	$t_{табл}$, с	t, с
0,1	0,76	1825	185	90	171	0,00265
0,2	1,51	2442	300	146	214	0,00332
0,3	2,26	2769	399	194	244	0,00378
0,4	3,02	2930	483	235	267	0,00413
0,5	3,77	2997	556	271	286	0,00427
0,6	4,52	3001	622	303	303	0,00470
0,7	5,28	2966	683	333	319	0,00494
0,8	6,04	2917	738	360	334	0,00517
0,9	6,80	2850	788	384	347	0,00537
1,0	7,55	2779	833	405	359	0,00556
1,5	11,3	2413	1011	492	411	0,00635
2,0	15,1	2099	1151	560	457	0,00717
2,5	18,9	1842	1263	615	499	0,00773
3,0	22,6	1637	1354	660	537	0,00830
3,5	26,0	1477	1428	695	573	0,00887
4,0	30,2	1283	1487	723	608	0,00942
4,5	34,0	1124	1535	747	642	0,00995
5,0	37,7	995	1576	767	675	0,01045
5,5	41,5	894	1612	785	706	0,01094
6,0	45,2	809	1645	800	737	0,01140
6,42	48,5	751	—	814,3	—	0,01182
6,5	49,0	738	1675	817	767	0,01190

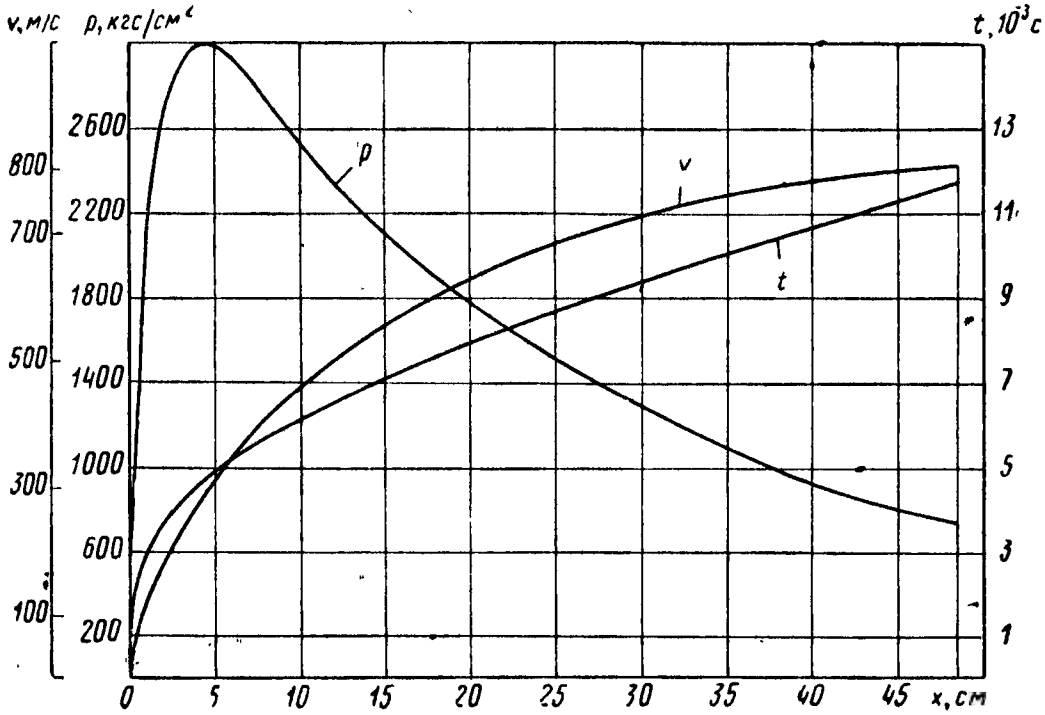


Рис. 35. Изменения давления газов, скорости пули и времени в зависимости от пути полета пули в канале ствола

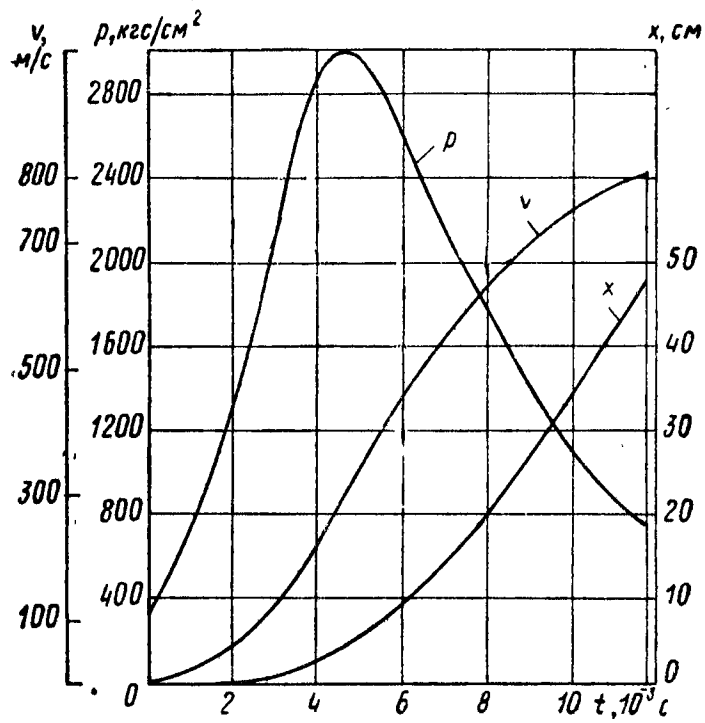


Рис. 36. Изменения давления газов, скорости и пути пули в зависимости от времени

Определяем множители для перехода от табличных значений скорости и времени к действительным значениям:

$$\varphi = 1{,}1 + 0{,}28\frac{\omega}{q} = 1{,}1 + 0{,}28\frac{2{,}69}{9{,}6} = 1{,}18;$$

$$l_0 = \frac{W_0}{n_s d^2} = \frac{3{,}59}{0{,}82 \cdot 0{,}762^2} = 7{,}55 \text{ см};$$

$$n_v = \sqrt{\frac{\omega}{\varphi q}} = \sqrt{\frac{2{,}69}{1{,}18 \cdot 9{,}6}} = 0{,}48;$$

$$n_t = l_0 \sqrt{\frac{\varphi q}{\omega}} = 7{,}55 \sqrt{\frac{1.18 \cdot 9{,}6}{2{,}69}}\ 10^{-6} = 15{,}5 \cdot 10^{-6}.$$

Умножая λ на l_0, $v_{\text{табл}}$ на n_v и $t_{\text{табл}}$ на n_t, получаем значения пути пули в канале ствола x, скорости v и времени t.

Значения давления, скорости и времени для $\lambda_д = 6{,}42$ находим интерполированием по λ с интерполирующим множителем $0{,}08/0{,}5 = 0{,}16$. Для наглядности строим кривые давления, скорости и времени в зависимости от пути пули (рис. 35) и зависимости давления, скорости и пути от времени (рис. 36). При определении значений и построении кривых давления газов и скорости пули приходится вводить поправки на температуру заряда. Значения этих поправок приводятся в приложении 1, табл. 7 и 8.

Глава 5

КОНСТРУКЦИИ ПАТРОНОВ

5.1. РАЗНОВИДНОСТИ ПАТРОНОВ

Для стрельбы из современного стрелкового оружия применяются унитарные патроны, у которых пуля, пороховой заряд и капсюль-воспламенитель соединены в одно целое с помощью гильзы (рис. 37). В зависимости от назначения патроны стрелкового оружия делятся на боевые и вспомогательные.

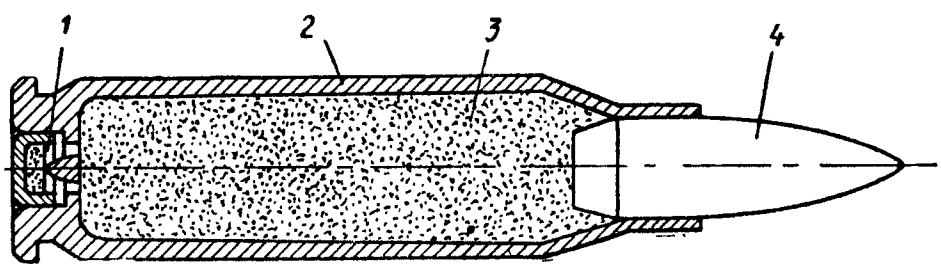


Рис. 37. Схема унитарного патрона:
1 — капсюль-воспламенитель; *2* — гильза; *3* — пороховой заряд; *4* — пуля

Боевые патроны предназначены для стрельбы из стрелкового оружия с целью поражения живой силы или боевой техники противника. В зависимости от вида оружия различают:

револьверные патроны, применяемые для стрельбы из револьверов;

пистолетные патроны, применяемые для стрельбы из пистолетов и пистолетов-пулеметов (автоматов под пистолетный патрон);

автоматные патроны, применяемые для стрельбы из автоматов, а также для стрельбы из карабинов и легких ручных пулеметов;

винтовочные патроны, применяемые для стрельбы из винтовок (карабинов), ручных и станковых пулеметов;

крупнокалиберные патроны, применяемые для стрельбы из крупнокалиберных пулеметов.

В зависимости от особенностей конструкции и назначения пули боевые патроны данного вида делятся еще на патроны с обыкновенными пулями и патроны со специальными пулями и именуются по виду пули. Например: патрон с пулей со стальным сердечником (обыкновенная), патрон с трассирующей пулей (специальная).

Вспомогательные патроны предназначены для различных вспомогательных целей, не имеющих прямого отношения к поражению живой силы и боевой техники противника. К ним относятся:

спортивные патроны различной конструкции, применяемые для стрельбы в спортивно-тренировочных целях;

холостые патроны, применяемые для безопасной стрельбы во время учений, маневров и салютов;

учебные патроны, применяемые для безопасных тренировок в выполнении приемов заряжания и разряжания оружия и в других случаях обращения с оружием;

патроны с усиленным зарядом, предназначенные для испытания оружия (проверки прочности и осадки узла запирания) выстрелами с увеличенным давлением пороховых газов;

патроны высокого давления, предназначенные для проверки прочности стволов;

образцовые (эталонные) патроны, применяемые для проверки баллистической аппаратуры, паспортизации баллистического (рабочего и контрольного) оружия и баллистических испытаний порохов и патронов;

смазывающие патроны, применяемые для смазывания поверхности канала ствола выстрелом в целях размягчения порохового нагара после стрельбы или предотвращения отложения металла оболочки на поверхность канала ствола (ометалличивания) и др.

В зависимости от формы они делятся на патроны:

цилиндрические, не имеющие резких переходов в очертании наружной поверхности;

трехгранные (для оружия с открытым патронником);

бутылочные, имеющие уширение зарядной каморы и конусный скат в переходе от корпуса к дульцу гильзы.

Кроме того, они могут быть:

с выступающим фланцем (фланец полностью выступает за боковую поверхность гильзы);

с невыступающим фланцем (фланец образован кольцевой проточкой донной части гильзы и не выступает за боковую ее поверхность);

с частично выступающим фланцем (фланец образован кольцевой проточкой, но частично выступает за боковую поверхность гильзы);

с уступающим фланцем (фланец образован кольцевой проточкой и имеет значительно меньший диаметр, чем корпус гильзы);

с кольцевым выступом на корпусе гильзы;

без фланца вообще (например, трехгранные патроны).

В зависимости от этих разновидностей патроны различным образом ограничиваются в своем движении (фиксируются) при досылании в патронник (рис. 38):

упором дульца гильзы в уступ патронника (цилиндрические патроны с невыступающим фланцем гильзы);

упором ската гильзы в скат патронника (бутылочные патроны с невыступающим фланцем гильзы);

упором фланца в казенный срез ствола (патроны с выступающим и частично выступающим фланцем гильзы);

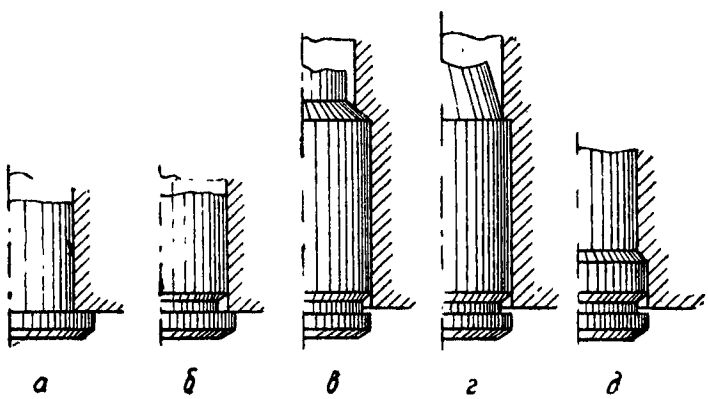


Рис. 38. Способы фиксации патронов:
а — выступающим фланцем; *б* — частично выступающим фланцем; *в* — скатом; *г* — торцем дульца; *д* — выступом корпуса гильзы

упором кольцевого выступа в уступ патронника (патроны с выступом на корпусе гильзы);

упором фланца гильзы в захваты затвора или зацеп выбрасывателя (патроны с уступающим фланцем гильзы).

5.2. ПИСТОЛЕТНЫЕ ПАТРОНЫ

Пистолетные патроны (рис. 39) имеют, за небольшим исключением, цилиндрическую форму и невыступающий за боковую поверхность гильзы фланец, образованный кольцевой проточкой. Бутылочная форма принята лишь у небольшого числа сравнительно мощных пистолетных патронов небольшого калибра (7,62-мм отечественный; 7,65-мм Люгера; 7- и 8-мм Намбу). Фиксация патрона в патроннике осуществляется торцем цилиндрической гильзы или скатом бутылочной гильзы. Характеристики некоторых пистолетных патронов приводятся в табл. 9, где L — длина патрона, $Q_п$ — вес патрона.

Калибр существующих пистолетов находится в широких пределах, однако большинство военных пистолетов имеет калибр

9 мм, как обеспечивающий достаточное убойное (останавливающее) действие пули при небольшом весе оружия. Длина пистолетных патронов обычно 25—35 мм или немного отклоняется от этих пределов.

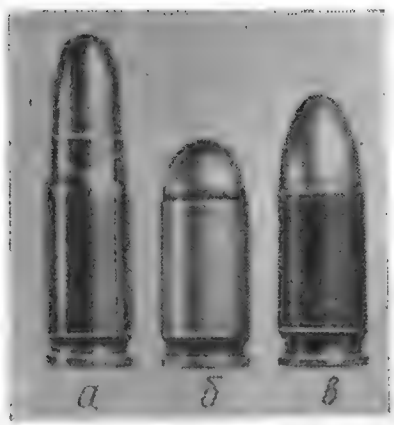


Рис. 39. Пистолетные патроны:
а — 7,62-мм; *б* — 9-мм отечественные; *в* — 9-мм Люгера (НАТО)

Таблица 9

Характеристики пистолетных патронов

Патрон	d, мм	L, мм	$Q_п$, гс	q, гс	ω, гс	W_0, см³	p_{max}, кгс/см²	v_0, м/с	E_0, кгс·м
К пистолету ТТ	7,62	34,8	10,3	5,5	0,50	0,80	2100	420	50
9-мм (ПМ)	9,0	25,0	10,0	6,1	0,23	0,51	1200	315	31
Люгера	7,65	29,8	10,6	6,0	0,33	0,70	—	350	38
Намбу	8,0	32,0	11,6	6,6	0,26	0,70	—	320	34,5
Браунинг	9,0	28,0	11,3	7,2	0,35	0,50	—	330	40
Люгера	9,0	29,6	12,5	8,0	0,36	0,55	2200	340	47
НАТО	9,0	29,6	10,5	6,4	0,39	0,53	2200	400	52
Кольта	11,43	31,9	19,1	12,9	0,35	1,0	990	260	44,5
Веблея	11,56	31,0	21,0	14,3	0,45	1,3	—	—	—

Вес патронов в большинстве случаев 10,5—12,5 гс, за исключением патронов калибра 11,43—11,56 мм и некоторых сравнительно маломощных патронов калибра меньше 9 мм. Веса пуль могут быть различными в зависимости от калибра, однако их коэффициент веса редко выходит за пределы 8,5—10 гс/см³.

Форма головной части пистолетных пуль подчиняется требованию большого останавливающего действия. С этой целью пули делаются обычно тупоконечными, с длиной головной части в пределах 0,5—1,0 калибра. В баллистическом отношении такая форма

пуль оказывается приемлемой ввиду небольших дальностей стрельбы из пистолетов (до 50 м).

Максимальное давление пороховых газов обычно не превосходит 2200 кгс/см². Небольшое давление газов и короткая гильза позволяют использовать пистолетные патроны для стрельбы из оружия с отдачей свободного затвора. Этот принцип работы автоматики и получил широкое применение в автоматических пистолетах и пистолетах-пулеметах.

5.3. АВТОМАТНЫЕ ПАТРОНЫ

Автоматные патроны (рис. 40) появились как результат попыток увеличить дальности эффективной стрельбы из пистолетов-пулеметов, получивших применение во вторую мировую войну во всех армиях вследствие способности их создавать высокую плотность огня ввиду большой скорострельности. Задача увеличения дальностей эффективной стрельбы из пистолетов-пулеметов (автоматов) могла быть решена только на базе нового патрона, более мощного в сравнении с пистолетным патроном и обладающего более высокими баллистическими свойствами пули, в то же время менее мощного в сравнении с винтовочным патроном в целях обеспечения устойчивости оружия при автоматической стрельбе.

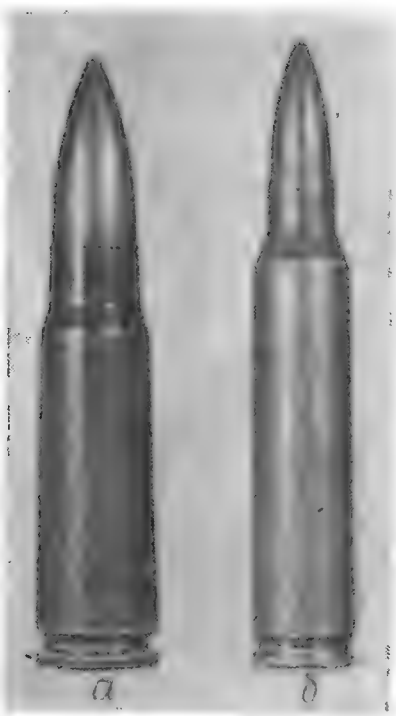


Рис. 40. Автоматные патроны:
а — 7,62-мм обр. 1943 г.;
б — 5,56-мм «Ремингтон» М193

Эта задача решалась вначале путем увеличения мощности пистолетных патронов за счет увеличения веса заряда и объема гильзы, которая, как и у пистолетных патронов, имела цилиндрическую форму. Примерами таких патронов являются 9-мм венгерский патрон, применявшийся во вторую мировую войну для стрельбы из автоматов 39М и 43М и 7,62-мм американский патрон к самозарядным карабинам М1 и М2. Решалась эта задача и путем уменьшения мощности винтовочного патрона за счет уменьшения веса заряда и укорочения существующей винтовочной гильзы. Примером такого патрона является 7,92-мм германский

патрон к автомату МР-43, применявшемуся во вторую мировую войну.

В послевоенный период автоматные патроны получили развитие как самостоятельный вид патронов со своими специфическими особенностями. Характеристики некоторых автоматных патронов приведены в табл. 10.

Таблица 10

Характеристики автоматных патронов

Патрон	d, мм	L, мм	$Q_п$, гс	q, гс	ω, гс	W_0, см^3	p_{max}, кгс/см^2	v_0, м/с	E_0, кгс·м
Американский	7,62	42,5	12,9	7,13	0,93	1,0	2800	600	131
Американский (М193)	5,56	57,6	11,5	3,57	1,6	1,8	3200	960	167
Германский	7,92	47,8	16,8	8,13	1,57	1,7	2700	690	197
Германский *JWK*	5,56	57,0	12,4	5,0	1,6	1,6	3300	830	176
Образца 1943 г.	7,62	56,0	16,4	7,9	1,60	1,8	2800	715	207
Отечественный 7Н6	5,45	57,0	10,5	3,4	1,4	1,6	3000	910	144

Характерными являются попытки в последние годы добиться требуемых свойств автоматного патрона путем значительного уменьшения калибра, позволяющего улучшить настильность траектории и увеличить дальность эффективной стрельбы при небольшом силовом воздействии выстрела на оружие (импульс отдачи порядка 0,5—0,6 кгс/с). Реализацией этих попыток является 5,56-мм американский патрон М193 и др. Необходимое действие пуль уменьшенного калибра по целям достигается главным образом за счет увеличения скорости их полета, а также за счет нарушения устойчивости при встрече с преградами.

В отличие от пистолетных патронов автоматные патроны имеют сравнительно совершенную в баллистическом отношении форму пули, обеспечивающую дальность прямого выстрела из автомата по грудной мишени высотой 0,5 м порядка 300—400 м. Ввиду сравнительно высоких баллистических свойств автоматные патроны применяются иногда для стрельбы из ручных пулеметов и

имеют пули различного специального действия (трассирующие, зажигательные, зажигательно-трассирующие, бронебойно-зажигательные и т. п.). Малокалиберные автоматы патроны имеют обыкновенные трассирующие пули.

5.4. ВИНТОВОЧНЫЕ ПАТРОНЫ

Винтовочные патроны (рис. 41) имеют исключительно бутылочную форму, совершенные в баллистическом отношении пули и существенно превосходят автоматные патроны по мощности. Калибр существующих винтовочных патронов (табл. 11) находится в пределах 6,5—8 мм, длина большей частью 75—80 мм, а вес 23—28 гс. Большой длиной отличаются американский и датский винтовочные патроны, которые заменены патроном НАТО, а большим весом — датский и итальянский патроны, имеющие калибр 8 мм.

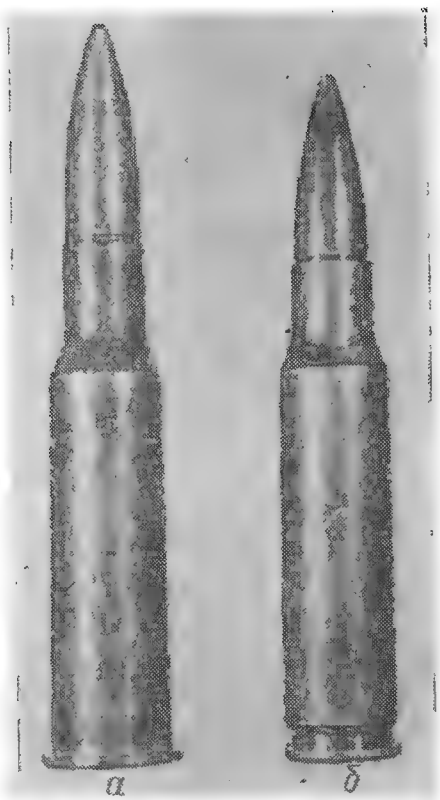


Рис. 41. Винтовочные патроны: *а* — 7,62-мм винтовочный; *б* — 7,62-мм НАТО

Веса пуль в зависимости от калибра равны обычно 9—13 гс, а зарядов 2,2—3,2 гс. При небольшом объеме зарядной каморы (3—4 $см^3$) винтовочные патроны имеют большие плотности заряжания (0,8—0,9 $гс/см^3$). Максимальное давление пороховых газов обычно 2700—3200 $кгс/см^2$. Величины начальных скоростей пуль составляют при этом 700—870 м/с.

Винтовочные патроны имеют широкую номенклатуру специальных пуль и гильзы с выступающим за боковую поверхность фланцем и с невыступающим, в зависимости от этого по-разному

Таблица 11

Характеристики винтовочных патронов

Патрон	d, мм	L, мм	$Q_п$, гс	q, гс	ω, гс	W_0, см^3	p_{max}, кгс/см^2	v_0, м/с
Японский	6,5	76,0	21,1	9,0	2,14	2,83	3320	750
Испанский	7,0	77,5	24,4	10,0	3,00	—	3000	860
Швейцарский	7,5	77,5	26,2	11,3	3,20	—	3300	825
Французский	7,5	75,5	23,5	9,0	2,85	3,62	2700	820
Отечественный	7,62	77,2	21,8	9,6	3,10	3,70	2900	850
Американский	7,62	86,0	27,7	11,6	3,62	3,93	3500	824
НАТО	7,62	71,1	24,3	9,6	2,90	3,00	2800	850
Финский	7,62	75,5	26,7	13,0*	2,88	3,50	2710	716
Английский	7,71	76,4	25,2	11,3	2,37	2,85	3020	745
Японский	7,71	79,7	25,8	10,5	3,02	3,70	2700	788
Германский	7,92	80,5	24,1	10,0	3,15	3,70	2820	877
Французский	8,0	75,0	28,7	12,9	3,00	3,70	2750	690
Датский	8,0	86,0	29,3	12,7	3,24	—	2500	770

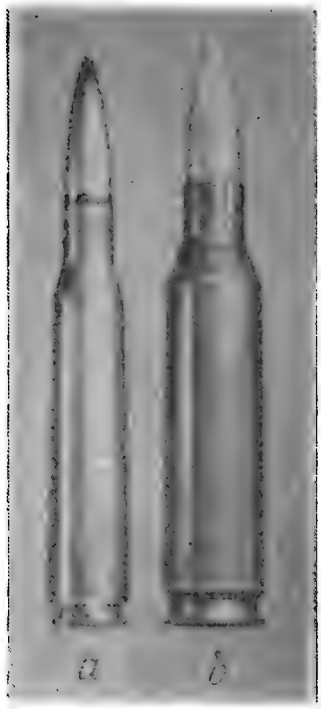
* В данном случае тяжелая пуля. Во многих винтовочных патронах одновременно применяются легкие и тяжелые пули, различные по весу и начальной скорости.

фиксируется патрон в патроннике. Предпочтение отдается патронам с невыступающим фланцем гильзы, как лучше удовлетворяющим требованиям проектирования механизмов автоматического оружия.

5.5. КРУПНОКАЛИБЕРНЫЕ ПАТРОНЫ

Крупнокалиберные патроны (рис. 42) отличаются большой мощностью в сравнении с другими патронами стрелкового оружия (табл. 12). Они имеют калибр 12,7—14,5 мм, а основные другие характеристики меняются в широких пределах.

Крупнокалиберные патроны имеют бутылочной формы гильзу с невыступающим фланцем. Исключение составляет английский патрон к пулемету Виккерса, имеющий гильзу с частично выступающим фланцем.



Сравнительно большой калибр и применение специальных пуль с большой начальной скоростью позволяют вести эффективную стрельбу из крупнокалиберных пулеметов на сравнительно большие дальности по наземным целям и низколетящим воздушным целям.

Рис. 42. Крупнокалиберные патроны:
а — 12,7-мм; *б* — 14,5-мм

Таблица 12

Характеристики крупнокалиберных патронов

Патрон	d, мм	L, мм	$Q_п$, гс	q, гс	ω, гс	W_0, см^3	p_{max}, кгс/см^2	v_0, м/с
Английский	12,7	107	85,4	37	8,4	11,2	2900	765
Американский	12,7	138	116	48	14,2	16,6	3700	806
Отечественный	12,7	147	135	48,3	12,8	20,4	3100	820
Французский	13,2	136	120	52	16,2	—	—	800
Отечественный	14,5	156	192	64	30,0	37	3300	1000

5.6. ДВУХПУЛЬНЫЕ ПАТРОНЫ

Ранее были рассмотрены патроны так называемой классической схемы, принципы устройства которых давно известны. В последние годы появились новые схемы патронов. К ним относятся двухпульные патроны, патроны со стреловидными пулями, патроны с реактивными пулями и патроны других новых схем.

Примером двухпульного патрона является американский патрон М198 (рис. 43). Он предназначен для увеличения эффективности стрельбы на малых дальностях (до 200 м) и не заменяет других патронов калибра 7,62 мм, а дополняет их. Увеличение

эффективности стрельбы достигается за счет увеличения количества и рассеивания пуль.

Пули имеют вес по 5,4 гс каждая, в сумме весят 10,8 гс (вес штатной пули 9,7 гс). Первая (передняя) пуля имеет выемку в хвостовой части, куда входит головная часть второй пули. Вследствие частичного нарушения обтюрации пороховых газов и попадания их в межпульное пространство при движении пуль по каналу ствола первая пуля получает бóльшую начальную скорость (850 м/с), чем вторая (790 м/с). В результате этого центр рассеивания вторых пуль на дальности 100 м на 280 мм ниже, чем центр рассеивания первых пуль.

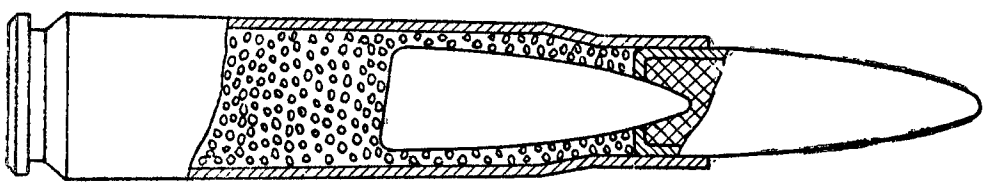


Рис. 43. Двухпульный патрон М198

Плоскость хвостового среза второй пули наклонена под углом 4,5° к поперечной оси пули, в результате чего вторые пули имеют большее рассеивание в сравнении с первыми пулями. Так, средний радиус рассеивания на дальности 100 м первых пуль 38 мм, а вторых 280 мм, диаметр группы в 10 пробоин 127 и 760 мм соответственно.

С увеличением дальности стрельбы скорости пуль, имеющих небольшой вес, резко падают, увеличивается рассеивание и уменьшается эффективность стрельбы. Поэтому патронами М198 рекомендуется стрелять на дальностях до 200 м.

5.7. ПАТРОНЫ СО СТРЕЛОВИДНЫМИ ПУЛЯМИ

Патроны со стреловидными (оперенными подкалиберными) пулями появились в результате поисков малоимпульсного патрона с большой дальностью прямого выстрела. Оперенная пуля может быть относительно длинной, обладающей большой поперечной нагрузкой и высоким проникающим (пробивным) действием. В одном из таких патронов (патент фирмы «Эркрафт армаментс ИНК» — ААУ) стальная стрела имеет диаметр 1,8 мм, длину 41 мм и вес 1,3 гс.

По конструкции эти патроны могут быть различными, как с одной оперенной пулей, так и с несколькими пулями небольшого диаметра, уложенными в пакет. В качестве примера на рис. 44 приводится одна из схем патрона с одной оперенной пулей, которая удерживается в гильзе с помощью поддона. Поддон состоит

из двух-трех частей и обеспечивает ведение пули по каналу ствола при выстреле и освобождение ее при вылете из канала ствола. Такой поддон называется поддоном тянущего типа. Когда в патроне несколько стреловидных пуль, то применяется поддон толкающего типа.

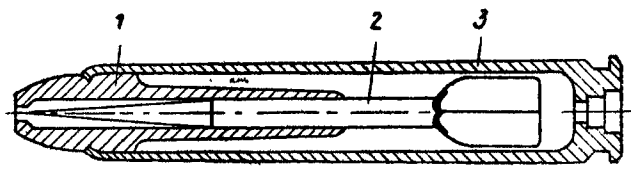


Рис. 44. Патрон со стреловидной пулей:
1 — поддон; *2* — стреловидная пуля; *3* — гильза

Для устойчивого полета оперенных пуль нарезы в канале ствола не требуются. Патроны с одной пулей могут применяться для стрельбы как из оружия с гладким каналом ствола так и с нарезным. Многопульные патроны при стрельбе из нарезного оружия дают большое рассеивание. Пакет стрел получает вращение, в результате чего возникают центробежные силы, разбрасывающие стрелы при вылете из канала ствола в стороны. Эффективность стрельбы может быть высокой только на малых дальностях.

Смысл применения оперенных пуль состоит в уменьшении их веса при большой длине, следовательно в уменьшении поперечных размеров. А это приводит к снижению их убойного действия, что в какой-то мере компенсируют большие скорости полета стрел, иногда превышающие 1200 м/с.

Особенностью патронов с оперенными пулями является неизбежное наличие элементов конструкции (поддонов), вылетающих из ствола вместе со стрелами. Это вынуждает уменьшать на сколько возможно дальность полета поддонов, их убойность и учитывать при боевом применении оружия. Поддоны при отделении влияют на полет стрел и увеличивают их рассеивание.

5.8. ПАТРОНЫ С РЕАКТИВНЫМИ ПУЛЯМИ

Патроны с реактивными пулями появились в результате поисков малоимпульсного патрона к личному оружию самообороны и нападения в непосредственной близости — к пистолетам. Дополнительный импульс, действующий на пулю в результате сгорания реактивного заряда, позволяет получить достаточную скорость пули при крайне малом активном заряде и слабом действии выстрела на оружие. А это позволяет сделать оружие легким и компактным.

Реактивные пули отличаются от других пуль наличием микрореактивного твердотопливного двигателя, конструкции которого

могут быть самыми разнообразными. В качестве примера на рис. 45 приводится одна из схем пули с микрореактивным двигателем *. В корпусе (оболочке) находится заряд твердого топлива и днище, которое штампуется из листового материала. Днище имеет несколько периферийных сопловых отверстий с косым срезом, обеспечивающих вращение пули в полете. В полости между зарядом топлива и днищем помещена тонкая алюминиевая мембрана, обеспечивающая герметизацию заряда до выстрела.

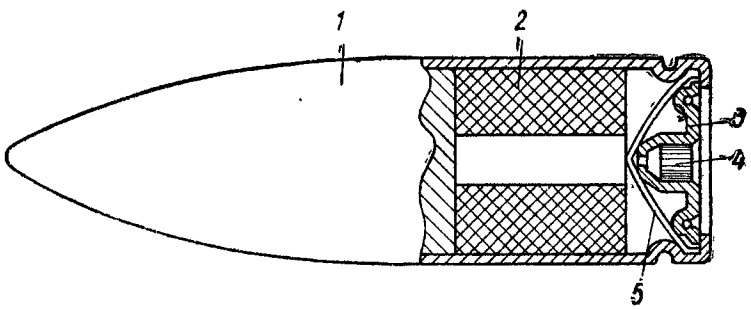


Рис. 45. Реактивная пуля:
1 — корпус (оболочка); *2* — заряд твердого топлива; *3* — днище; *4* — капсюль-воспламенитель; *5* — алюминиевая мембрана

Пуля может выбрасываться из канала ствола небольшим активным (вышибным) или реактивным зарядом. Для стрельбы без активного заряда в гнездо поддона вставляется капсюль-воспламенитель. Алюминиевая мембрана прорывается газами вышибного заряда или продуктами разложения ударного состава капсюля-воспламенителя.

Вращение пули с помощью наклона сопел преследует цель обеспечения устойчивости пули при полете в воздухе, если стрельба ведется из гладкоствольного орудия. При стрельбе из оружия со значительным давлением пороховых газов активного заряда и большой длиной ствола необходимо предохранять реактивный заряд от преждевременного сгорания (в канале ствола), что достигается или специальной обработкой свободной поверхности реактивного заряда или размещением в каморе сгорания медленно горящего состава.

5.9. БЕЗГИЛЬЗОВЫЕ ПАТРОНЫ

Гильза в патронах стрелкового оружия является наиболее тяжелым и трудоемким элементом. Поэтому всегда была заманчивой идея обойтись без этого элемента в конструкциях патронов, сделать их безгильзовыми. Реализация этой идеи позволила бы уменьшить размеры и вес патрона, увеличить емкости укупорки

* Пат. США, № 3490121, опубл. 20.01.70 г.

патронов, емкости питания (магазинов, лент), исключить из технологии изготовления патронов изготовление гильз и обеспечить этим экономию трудозатрат и металла, исключить в конструкциях оружия механизмы экстракции и отражения гильз и многое др.

В прошлом предлагались различные конструкции безгильзовых патронов, характерные размещением порохового заряда в хвостовой части пули. Дно такого патрона (пули) предлагалось делать сгорающим, как и размещенное в нем средство воспламенения (капсюль). Такие конструкции не могли обеспечить получение необходимой мощности безгильзовых патронов, за исключением пистолетных патронов, применительно к которым эта проблема практически не имеет значения.

В этом отношении представляет интерес конструкция безгильзового патрона, разработанная Франфордским арсеналом (рис. 46). Она отличается наличием уширенной части оболочки пули, в которой помещается пороховой заряд, и продольных канавок на этой уширенной части. Наличие продольных канавок обеспечивает проникание пороховых газов при выстреле на наружную поверхность оболочки и сравнительно легкий обжим уширенной ее части при движении по каналу ствола до размеров диаметра головной части. Этим создаются предпосылки для обеспечения прочности стенок пули (оболочки) и увеличения мощности безгильзового патрона.

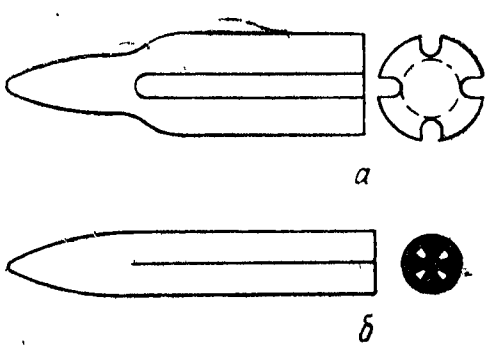


Рис. 46. Безгильзовый патрон: *а* — до выстрела; *б* — после выстрела

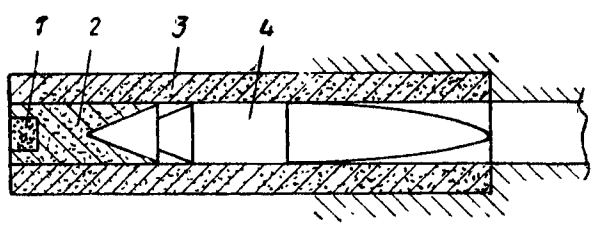


Рис. 47. Безгильзовый патрон: *1* — капсюль-воспламенитель; *2* — дополнительный пороховой состав; *3* — пороховой заряд; *4* — пуля

На рис. 47 представлена распространенная схема современного безгильзового патрона. Пуля размещается внутри заранее сформированного порохового заряда. Она может выступать из заряда или не выступать, как в данном случае. Позади пули в канале порохового заряда размещается дополнительный пороховой состав, предназначенный для первого смещения пули, чтобы закрыть камеру сгорания и обеспечить обтюрацию пороховых газов. Полностью сгорающий капсюль-воспламенитель размещен в торце дополнительного порохового состава. Такой патрон может быть

цилиндрическим или призматическим, любой желаемой мощности.

Подобные схемы безгильзовых патронов неоднократно появляются за рубежом, что свидетельствует об интересе к этим патронам, с которыми связан ряд новых проблем. Возникают такие вопросы, как необходимость обеспечения длительного хранения и безопасности новых патронов в обращении, извлечения их из канала ствола при осечках, обтюрации пороховых газов при выстреле со стороны затвора, предотвращения интенсивного нагрева казенной части ствола, затвора и бойка, подверженных действию раскаленных пороховых газов. Такие же вопросы возникают при сгорающих гильзах. Трудностями решения всех этих вопросов в совокупности и объясняется отсутствие пока безгильзовых патронов на вооружении современных армий.

5.10. ПАТРОНЫ С ПОДВИЖНЫМ КАПСЮЛЕМ

Старая идея патрона с подвижным капсюлем выдвигается вновь (рис. 48) с учетом перспективы получить простое по устройству автоматическое оружие. Тут не требуется отвод пороховых газов через стенку ствола или отдача ствола для приведения в действие автоматики оружия.

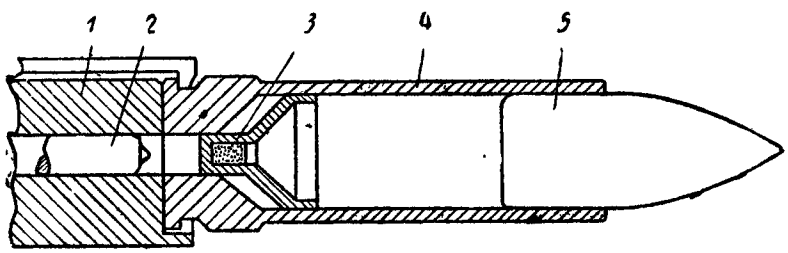


Рис. 48. Патрон с подвижным капсюлем:
1 — затвор; *2* — ударник; *3* — капсюль-воспламенитель; *4* — гильза; *5* — пуля

Отличительная особенность рассматриваемого патрона заключается в том, что капсюль-воспламенитель имеет особую конструкцию, может двигаться в канале дна гильзы и действовать на ударник, сообщая ему необходимую энергию для приведения в действие автоматики. Для обтюрации пороховых газов капсюль имеет раструб с заплечиками, ограничивающими его в движении. Для обеспечения необходимой чувствительности капсюль имеет тонкое дно, а для предотвращения прорывов газов — толстые боковые стенки. Патрон по такой схеме может быть цилиндрическим или трехгранным, с любым боеприпасом, включая оперенную пулю. Наковальня для разбития ударного состава в данном случае отсутствует, хотя она и может быть.

В технологическом отношении схема нового патрона требует более сложного капсюля-воспламенителя и иных приемов вставки его в гильзу. При бутылочной форме гильзы вставка капсюля требуется до обжима дульца и при необходимости промежуточного отжига не допустима.

5.11. ПАТРОНЫ ДЛЯ ОРУЖИЯ С ОТКРЫТЫМ ПАТРОННИКОМ

Оригинальной является схема (рис. 49) патрона для оружия с так называемым открытым патронником (схема Дардика, 1949 г.). Особенность этой схемы состоит в том, что при стрельбе из оружия не требуется продольного перемещения патронов и обеспечивается возможность резкого повышения скорострельности оружия. Патрон имеет трехгранную форму и состоит из традиционных элементов — пули, гильзы, порохового заряда и капсюля-воспламенителя.

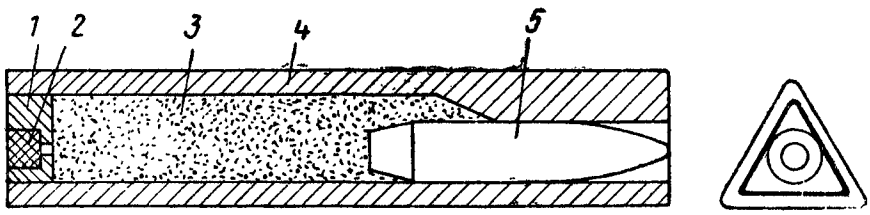


Рис. 49. Патрон для оружия с открытым патронником:
1 — поддон; *2* — капсюль-воспламенитель; *3* — пороховой заряд; *4* — гильза; *5* — пуля

Пуля обычная или оперенная размещается полностью в гильзе, не выступая из нее. Гильза имеет особую конструкцию и выполняется из достаточно эластичного и прочного материала, чтобы обладать необходимым расширением при выстреле и обтюрировать зазоры между барабаном (патронником) и рамой, не вдавливаться в имеющиеся зазоры. В остальном особой прочности или упругости от гильзы не требуется, на разрыв или экстракцию она не рассчитана. Она может быть пластмассовая (поликарбонат и др.) или металлическая.

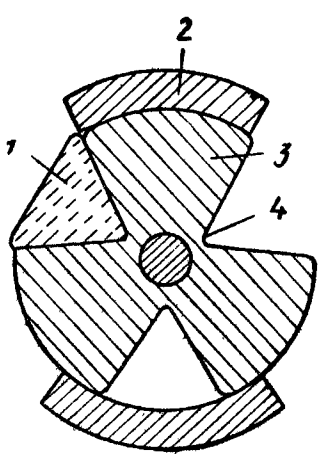


Рис. 50. Схема оружия с открытым патронником:
1 — патрон; *2* — перемычка ствольной коробки; *3* — барабан; *4* — патронник

Подача таких патронов в оружии осуществляется с помощью барабана с открытыми патронниками (рис. 50), патрон последовательно подается в открытый патронник, в положение для производства выстрела и затем в положение для отделения гильзы от барабана.

Оружие такой схемы может быть простое по устройству, обладающее высоким темпом стрельбы. Не требуется дорогостоящие и дефицитные материалы для гильз, патрон мо-

жет быть легче. На практике такое оружие оказалось сложным и мало надежным, в результате чего не получило широкого применения.

5.12. ОБРАЗЦОВЫЕ ПАТРОНЫ

Образцовые патроны предназначены для баллистической аппаратуры (хронографов), паспортизации баллистического оружия и баллистических испытаний порохов и патронов. Партии образцовых патронов изготовляются по более строгим режимам технологического процесса, чем валовые партии патронов.

Порох для снаряжения образцовых патронов изготовляется по технологическому регламенту для валовых порохов, но с принятием всех возможных мер, обеспечивающих наиболее стабильные физико-химические и баллистические характеристики (надлежащий выбор исходных материалов, более строгое соблюдение технологического регламента и др.). Перед окончательными баллистическими испытаниями порох должен иметь срок хранения в заводской укупорке не менее шести месяцев.

Гильзы для снаряжения образцовых патронов применяются одной валовой партии, изготовленной специально отобранным, вполне исправным рабочим инструментом и проверенной на удовлетворение техническим условиям при трехкратном размере выемки. Капсюли-воспламенители также должны быть одной валовой партии.

Пули образцовых патронов должны удовлетворять требованиям чертежей, но с половинными допусками на диаметр ведущей части и вес, отсчитываемыми от середины поля допуска. Для проверки удовлетворения техническим условиям берется выемка трехкратного размера. По диаметру и весу проверяются все пули.

Образцовые патроны изготовляются на одном из патронных заводов и после утверждения партии рассылаются потребителям в герметической укупорке. Срок их годности в качестве образцовых патронов обычно пять лет. Решение определения срока годности принимается на основании проверки баллистических характеристик и химической стойкости пороха. При изготовлении образцовых патронов обеспечиваются установленные пределы отклонения веса заряда и извлекающего пулю усилия.

Баллистические характеристики образцовых патронов устанавливаются на основании испытания их трехдневной стрельбой из трех скоростных и трех крешерных экземпляров баллистического оружия, один экземпляр которого контрольный. Из каждого экземпляра оружия в день производится по одной баллистической группе выстрелов. При стрельбе из крешерного оружия определяется максимальное давление газов и скорость пули. При стрельбе пистолетными патронами из крешерного оружия скорость пули не определяется.

Баллистическими характеристиками партии образцовых патронов являются:

среднее значение скорости пуль $v_{x\,ср}$, рассчитанное по числу всех стрельб из скоростного и крешерного баллистического оружия;

среднее значение максимального давления пороховых газов $p_{max\,ср}$, рассчитанное по числу всех стрельб из крешерного оружия;

наибольшее значение разности между наибольшим и наименьшим значениями скорости пуль при стрельбе из скоростного и крешерного оружия;

наибольшее значение разности между наибольшим и наименьшим значениями максимального давления пороховых газов при стрельбе из крешерного оружия.

Баллистические испытания образцовых патронов обычно проводятся в нескольких организациях по особому указанию. Эти испытания являются предварительными. Окончательная оценка баллистических характеристик партии образцовых патронов устанавливается полигоном на основании обобщения результатов стрельб, проведенных во всех установленных организациях. Полигон же утверждает партию образцовых патронов.

Для отличия от других патронов вершинки пуль образцовых патронов окрашивают в белый цвет. К каждой партии образцовых патронов предъявляется ряд конкретных требований по баллистическим и другим характеристикам, их отклонениям, условиям определения и т. п., что оговаривается в технических условиях.

5.13. ПАТРОНЫ С УСИЛЕННЫМ ЗАРЯДОМ И ПАТРОНЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Патроны с усиленным зарядом имеют более высокое максимальное давление газов в сравнении с патронами валовых партий и предназначены для проверки прочности и осадки узла запирания в оружии при его изготовлении. Они выпускаются для потребителей (оружейных заводов) сравнительно небольшими партиями, не превосходящими 100 000 для патронов нормального калибра и 20 000 для патронов крупного калибра.

В технических условиях на изготовление патронов с усиленным зарядом обычно указываются пределы среднего уровня максимального давления $p_{max\,ср}$ для баллистической группы выстрелов, приведенного к температуре $+20°$ С, а также верхний уровень наибольшего давления $p_{max\,нб}$.

При назначении максимального давления газов учитывается возможность применения оружия при температуре $+50°$ С. Для этой температуры и наибольшего максимального давления по техническим условиям на валовые партии патронов высчитывается поправка к давлению

$$\Delta p_{30} = m_t p_{max\,нб}\,30,$$

где m_t — поправочный коэффициент, и определяется средний уровень максимального давления

$$p_{\max \text{ ср}} = p_{\max \text{ нб}} + \Delta p_{30}.$$

Верхний предел среднего уровня определяется с учетом температуры применения патронов с усиленным зарядом (от +10 до +30° С), для чего высчитывается поправка:

$$\Delta p_{10} = m_t p_{\max \text{ ср}} 10;$$

$$p_{(\max \text{ ср})\text{ в}} = p_{\max \text{ нб}} + \Delta p_{30} + \Delta p_{10}.$$

Нижний предел обычно берется несколько больше наибольшего максимального давления по техническим условиям на валовые партии патронов. Возможность обеспечить полученные значения максимального давления проверяется опытным путем. Самое простое решение — получение заданного давления путем увеличения веса заряда. При ограниченном объеме зарядной каморы допускается обычно менять марку пороха и увеличивать вес пули.

Во избежание тугой экстракции гильзы при стрельбе патронами с усиленным зарядом рекомендуется корпус гильзы слегка смазывать ружейной смазкой, а в целях безопасности при определении давления стрелять из-за укрытия.

Для отличия патронов с усиленным зарядом их пули до дульца гильзы окрашивают в черный цвет, а на боковых (продольных) стенках ящиков и на крышках коробок делается черной краской надпись «усиленный заряд».

Патроны высокого давления имеют более высокое максимальное и дульное давление в сравнении с патронами валовых партий и предназначены для проверки прочности стволов в процессе производства. Они выпускаются также ограниченными партиями.

Техническими условиями на изготовление патронов высокого давления обычно предусматриваются пределы среднего уровня максимального давления $p_{\max \text{ ср}}$ и нижний уровень среднего дульного давления $p_{\text{д ср}}$.

Для определения уровней давления исследуются патроны валовых партий при температуре +70 и —50° С с определением максимального и дульного давлений. На основании этих исследований устанавливаются нормативы патронов высокого давления по максимальному и дульному давлениям. Далее проводятся исследования по изысканию наиболее рационального решения задачи обеспечения заданных уровней давления.

Если задачу не удается решить путем подбора заряда штатного пороха при штатной пуле, то прибегают к пороху другой марки либо к изменению веса пули, либо к изменению того и другого. Допускается изменять длину патрона при условии вхождения его в патронник. Скорость пули при этом может быть любой и не измеряется.

Таблица 13

Параметры патронов, кгс/см²

Параметры	Патроны с усиленным зарядом				Патроны высокого давления		
	7,62-мм обр. 1943 г.	7,62-мм винтовочный	12,7-мм	14,5-мм	7,62-мм винтовочный	12,7-мм	14,5-мм
$p_{(max\ ср)в}$	3450	3350	3900	3900	4300	4500	4300
$p_{(max\ ср)н}$	—	3200	3700	3700	4100	4300	4100
$p_{max\ нб}$	—	3750	4000	4000	—	—	—
$p_{max\ нм}$	3100	—	—	—	—	—	—
$p_{(д\ ср)н}$	—	—	—	—	500	725	725

Параметры некоторых патронов с усиленным зарядом и высокого давления приводятся в табл. 13. Для отличия от других патронов пули патронов высокого давления окрашиваются до дульца гильзы в желтый цвет.

5.14. ХОЛОСТЫЕ И УЧЕБНЫЕ ПАТРОНЫ

Основное назначение *холостых патронов* — безопасная стрельба во время учений, маневров и салютов. Иногда они применяются в ружейных гранатометах для выбрасывания ружейных гранат и для других целей.

К холостым патронам предъявляются следующие основные специфические требования:

такой же звук выстрела, как и при стрельбе боевым патроном данного вида;

полная безопасность стрельбы холостыми патронами;

надлежащая форма и размеры, обеспечивающие возможность стрельбы из оружия без применения дополнительных приспособлений в механизмах подачи патронов;

пригодность для автоматической стрельбы при наличии усилителей интенсивности действия пороховых газов на ведущее звено автоматики и др.

Необходимый звук выстрела обеспечивается за счет выбора марки быстро сгорающего пороха и нужного веса заряда. Так, для холостых патронов обр. 1943 г. применяется пистолетный порох марки П-45, для холостых винтовочных патронов — порох марки ПЛ10-12, а для крупнокалиберных патронов — порох марки ВТЖ.

Безопасность стрельбы холостыми патронами обеспечивается тем, что их конструкции либо вовсе не имеют пули, как отечественные холостые патроны, либо имеют настолько слабые пули, что они разрушаются при вылете из канала ствола и не представляют опасности. Предпочтительны холостые патроны без каких-либо вылетающих из дула предметов в виде слабых пуль или колпачков, создающих в какой-то мере помехи нормальному функционированию усилителей действия газов на подвижную систему автоматики при стрельбе очередями.

На рис. 51 и 52 показаны холостые и учебные патроны калибра 7,62 мм. Форма холостого патрона обр. 1943 г. насколько возможно приближена к форме боевого патрона и обеспечивает нормальную работу механизмов подачи без каких-либо дополнительных устройств. Для удержания порохового заряда в гильзе дульце последней обжато «звездочкой».

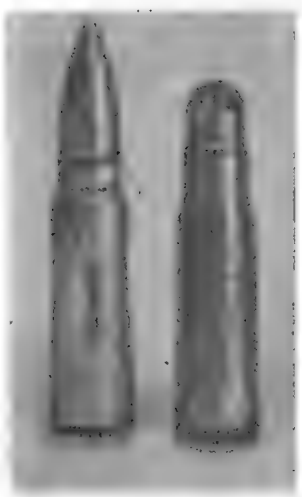


Рис. 51. Учебный и холостой патроны обр. 1943 г.

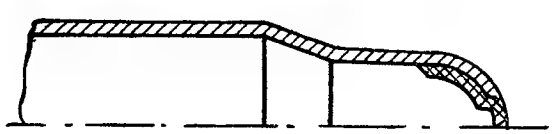


Рис. 53. Деталь конструкции крупнокалиберного холостого патрона

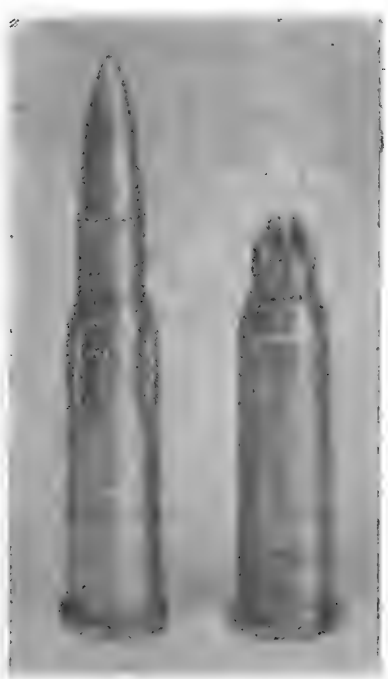


Рис. 52. Учебный и холостой винтовочные патроны

На рис. 53 показана деталь конструкции крупнокалиберного холостого патрона. Пороховой заряд закрыт в гильзе картонным колпачком, который удерживается при выстреле в гильзе загнутым краем дульца.

Нормальную работу автоматики автоматического оружия при стрельбе холостыми патронами не удается обеспечить без дополнительных устройств — усилителей действия газов. В систе-

мах оружия с отдачей ствола это достигается заменой или постановкой втулки надульника с меньшим внутренним диаметром, а в системах с отводом пороховых газов — постановкой (закреплением на дульной части ствола) втулки для холостой стрельбы, также с меньшим внутренним диаметром.

Холостые патроны обычно резко отличаются по внешнему виду от других патронов, поэтому для них специальные отличительные признаки не применяются.

Учебные патроны не содержат порохового заряда и предназначены для обучения личного состава приемам заряжания и разряжания оружия, снаряжения магазинов и лент патронами и другим операциям обращения с оружием.

К учебным патронам в соответствии с их назначением предъявляются требования полного сходства с боевыми патронами по форме и размерам, прочного соединения пули с гильзой, обеспечивающего неоднократное использование учебных патронов, и характерных внешних признаков, отличающих учебные патроны от боевых.

Характерным внешним признаком отечественных учебных патронов (см. рис. 51 и 52) является наличие на их боковой поверхности четырех продольных канавок, увеличивающих их жесткость. Поперечные канавки на корпусе гильзы имеют 9-мм пистолетные учебные патроны.

В процессе изготовления учебных патронов могут быть использованы элементы, не отвечающие требованиям технических условий на боевые патроны. Иногда вместо пуль используются одни оболочки пуль. Все это и другие конкретные требования оговариваются в технических условиях на изготовление учебных патронов, также как и холостых патронов.

5.15. МАРКИРОВКА ПАТРОНОВ

Технические данные о патронах, место и время их изготовления, а также отличительные признаки приводятся частично на самом патроне, частично на упаковке — металлических коробках и деревянных ящиках. Исчерпывающие сведения о патронах даются в паспортах на партии патронов.

Непосредственно на патроне содержатся сведения о месте и времени изготовления патронов и отличительные признаки пули. Номер или условный знак (шифр) завода-изготовителя и последние две цифры года изготовления выштамповываются на наружной поверхности дна гильзы. Иногда там же можно встретить другие знаки. Нанесения без особой необходимости кратковременно действующих знаков избегают в целях более рационального использования рабочего инструмента — штампов.

Если пули (патроны) не имеют характерных особенностей в форме, то их снабжают специальными отличительными признаками в виде цветной окраски вершинки. Вершинку, например, трассирующей пули окрашивают в зеленый цвет, зажигательной и пристрелочно-зажигательной — в красный, 7,62-мм тяжелой пули — в желтый, борнебойно-зажигательной — в черный с красным пояском, бронебойно-зажигательно-трассирующей — в фиолетовый с красным пояском и т. д. Обыкновенные пули, как основные, обычно не окрашивают, что и служит их отличительным признаком.

Отличительная окраска патронов принята также во многих иностранных армиях. Зачастую она совмещается с герметизацией патронов по месту сопряжения пули с дульцем гильзы и капсюля-воспламенителя с капсюльным гнездом.

На крышках металлических коробок, в которые упаковываются патроны, имеются следующие сведения:

сокращенное наименование патронов;

номер партии патронов, место и время их изготовления;

марка, партия пороха, место и время его изготовления;

отличительная цветная полоса, отличительный знак или отличительная надпись;

количество патронов в коробке.

Сокращенное наименование патрона содержит обозначения калибра (вида патрона), пули и материала гильзы. Пули обозначаются буквами, иногда в сочетании с цифрами, например:

Л, Д — винтовочные легкая и тяжелая;

Пст, ПС, ЛПС — со стальным сердечником (пистолетная калибра 7,62 мм, обр. 1943 г., винтовочная);

ПТ, Т-45, Т-46 — трассирующие (пистолетная, обр. 1943 г., винтовочная);

БЗ, Б-32, БС-41 — бронебойно-зажигательные;

БЗТ, БЗТ-44, БСТ — бронебойно-зажигательно-трассирующие;

З, ЗП — зажигательные;

ПЗ — пристрелочно-зажигательная;

МДЗ — зажигательная мгновенного действия и т. п.

Гильзы обозначаются буквами: гл (латунная), гж (биметаллическая) и гс (стальная). В сочетании эти обозначения дают сокращенное наименование патрона, например,

7,62Т — 45 гж
обр. 43

Партия патронов, время и место их изготовления сокращенно записываются, например, в виде

$$В21 — 72 — 310,$$

где В21 — номер партии патронов;
72 — две последние цифры года изготовления;
310 — условный номер (шифр) завода-изготовителя патронов.

Марка пороха обозначается сочетанием букв и цифр, например

$$ВУфл\ \frac{3}{72}\ Т,$$

где ВУфл — собственно марка пороха;
3 — номер партии пороха;
72 — год изготовления пороха;
Т — шифр завода-изготовителя.

Отличительная полоса и отличительный знак наносятся того же цвета, что на вершинке пули, а отличительные надписи в виде: «холостые», «учебные», «образцовые» и т. п.

Боковые (продольные) стенки ящика содержат те же надписи, что и крышки металлических коробок. Указывается количество патронов в ящике. На крышке ящика наносится знак разряда груза в виде треугольника с цифрой 2 внутри его и средняя масса ящика с патронами (брутто), с точностью до 0,5 кг, например 28,5 кг. Укладка и укупорка патронов как и их маркировка предусматриваются специальными техническими условиями.

Глава 6

КОНСТРУКЦИИ ПУЛЬ

6.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПУЛЯХ

Названия «пуля» и «снаряд» сложились исторически. Снаряд имел снаряжение — взрывчатое, зажигательное или какое-либо другое вещество. Пуля в отличие от снарядов была сплошной, без снаряжения. Кроме того, снаряды и пули резко различались калибрами, так как снаряды применялись для стрельбы из артиллерийских систем, а пули — из стрелкового оружия. Между ними была большая разница в калибрах.

К настоящему времени смысл этих понятий изменился, так как снаряжаются различными веществами как снаряды, так и пули. Калибр также не является уже признаком, по которому можно отличить пулю от снаряда, так как пределы калибров стрелкового оружия и пушек расширились, образуя сплошную цепь калибров. В настоящее время пулю и снаряд различают лишь по способу врезания в нарезы канала ствола: снаряд врезается в нарезы специальным ведущим пояском, а пуля — непосредственно своим корпусом (оболочкой).

Все современные пули делятся на обыкновенные и специальные.

Обыкновенные пули наиболее просты по устройству и предназначаются для поражения живой силы противника. Они обладают лишь ударным (убойным, пробивным) действием и применяются в пистолетных, автоматных и винтовочных патронах нормального стрелкового калибра.

Специальные пули характеризуются наличием специального действия, более сложным устройством и предназначаются преимущественно для поражения боевой техники противника.

По сочетанию видов действия все пули разделяются на две группы:

пули простого действия (обыкновенные — со свинцовым сердечником, со стальным сердечником; специальные — бронебойные, зажигательные, трассирующие, разрывные и т. д.);

пули комбинированного действия (бронебойно-трассирующие, бронебойно-зажигательные, осколочно-зажигательные, зажигательно-трассирующие, пристрелочно-зажигательные, бронебойно-зажигательно-трассирующие и др.).

Сочетание в одной пуле нескольких видов специального действия отражает стремление сделать пулю универсальной, пригодной для эффективной стрельбы по различным целям. Однако такое решение не всегда целесообразно, так как комбинированные пули получаются сложными в изготовлении, дорогими и обладающими в ряде случаев пониженным специальным действием какого-либо вида при ограниченном весе пули, особенно небольшого калибра. Поэтому преобладающими номенклатурами в боевых комплектах остаются наиболее простые пули — обыкновенные и специальные простого и комбинированного действия в зависимости от калибра.

Специальные пули применяются во всех патронах стрелкового оружия, не исключая пистолетных патронов, если они используются для стрельбы из пистолетов-пулеметов. При большой номенклатуре пуль им приходится присваивать специальные сокращенные обозначения и отличительные признаки (см. параграф 5.5).

6.2. ОБЫКНОВЕННЫЕ ПУЛИ

Среди обыкновенных пуль (рис. 54) можно встретить безоболочечные (сплошные) пули, оболочечные пули со свинцовым или со стальным сердечником. Наиболее простое устройство имеют безоболочечные пули. Для нормального взаимодействия с поверхностью канала ствола их материал должен сочетать высокую пластичность и небольшую твердость с достаточной прочностью. В отдельных случаях этим требованиям удовлетворяет свинец.

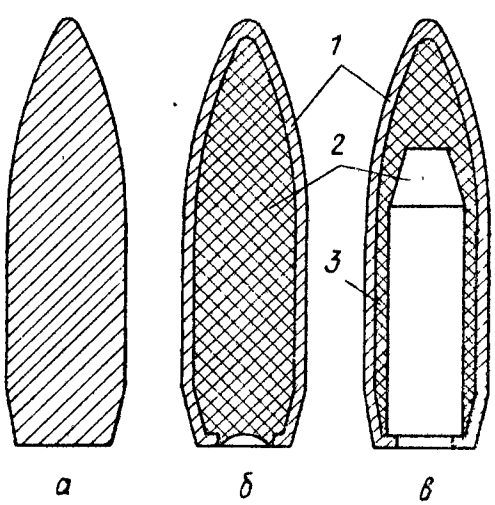


Рис. 54. Обыкновенные пули:
а — безоболочечная; *б* — оболочечная со свинцовым сердечником; *в* — оболочечная со стальным сердечником; *1* — оболочка; *2* — сердечник; *3* — рубашка

Сплошные свинцовые пули применялись в прошлом веке для боевых образцов стрелкового оружия и применяются в настоящее время для спортивного малокалиберного оружия. Для современного боевого оружия свинцовые пули не удовлетворяют предъявляемым требованиям и не применяются (срываются с нарезов вследствие недостаточной прочности свинца). Поэтому применялись другие материалы для безоболочечных пуль. Так, во Франции применялась в первую мировую войну 8-мм сплошная томпаковая пуля, замененная в дальнейшем оболочечной пулей как более дешевой.

Оболочечные пули состоят из мягкого (обычно свинцового) сердечника и более прочной оболочки. Такое устройство пуль обеспечивает сравнительно легкое вхождение их в нарезной канал ствола, хорошее заполнение нарезов и надежное ведение по нарезам (без срывов) при движении по каналу ствола. Толщина стенок оболочек современных пуль находится в пределах $t_0 = (0{,}06 \div 0{,}08)d$.

К началу первой мировой войны все армии имели на вооружении оболочечные пули.

Пули со стальным сердечником имеют в устройстве три элемента. При изготовлении таких пуль экономится свинец, он заменяется менее дорогим материалом — сталью. Наличие в конструкции стального сердечника делает пулю менее склонной к деформации при пробитии некоторых преград, что способствует увеличению проникающего действия. В тех случаях, когда пуля разрушается, пробивное действие обеспечивается сердечником. Во вторую мировую войну пули со стальными сердечниками получили широкое применение.

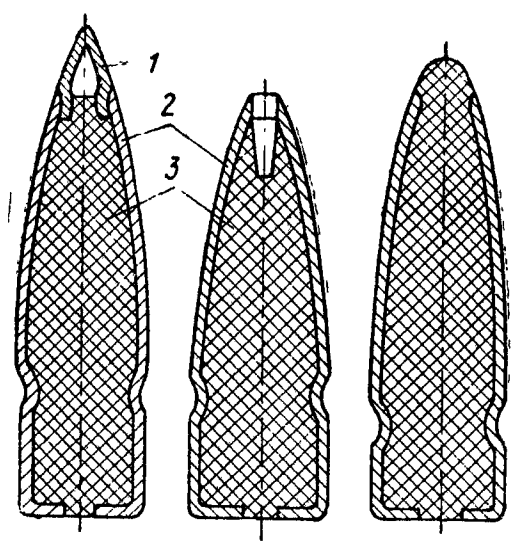


Рис. 55. Разворачивающиеся пули: *1* — наконечник; *2* — оболочка; *3* — сердечник

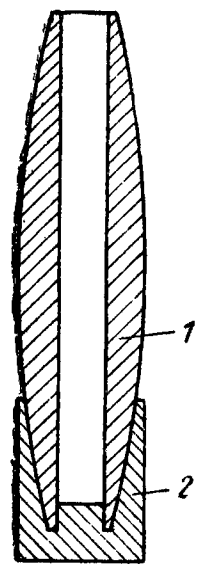


Рис. 56. Трубчатая пуля: *1* — корпус; *2* — поддон

К обыкновенным пулям относятся еще так называемые разворачивающиеся пули (рис. 55)*. Они характерны ослабленной головной частью, в результате чего резко деформируются, разворачиваются (иногда разрушаются) при встрече с преградами и наносят большие поражения живым целям. Будучи запрещенными Гаагской декларацией 1899 г. и обладая небольшим пробивным

* Эти пули иногда называют «Дум-дум» по месту изготовления первых образцов (местечко и арсенал близ Калькутты).

действием, они отсутствуют на вооружении армий и применяются лишь для стрельбы из охотничьего нарезного оружия по крупному зверю.

Оригинальными являются трубчатые пули (рис. 56), которые предлагались еще в прошлом веке, в период разработки остроконечных пуль (пуля Крнка-Хеблера), и к которым проявляется интерес в наше время. В их конструкцию обязательно входит обтюрирующий поддон, отделяющийся при вылете пули из канала ствола.

При значительном калибре трубчатая пуля может иметь небольшой вес и большую начальную скорость пули при большой поперечной нагрузке. Этим создается возможность резкого улучшения баллистических качеств пули (уменьшения баллистического коэффициента). Имевшиеся конструкции пуль не обеспечивали надежного стабильного разделения пули с поддоном при вылете из канала ствола и давали большое рассеивание *.

Трубчатые пули с цилиндрическим, как в данном случае, или цилиндроконическим каналом по технологическим и конструктивным соображениям неизбежно должны иметь на концах притупления, ухудшающие в какой-то мере баллистические качества. Наличие вылетающих поддонов ухудшает безопасность для своих войск при стрельбе. По такой схеме исключена разработка специальных пуль. Всем этим можно объяснить отсутствие этих пуль на вооружении армий.

6.3. МАТЕРИАЛЫ ОБЫКНОВЕННЫХ ПУЛЬ

Материал пульных оболочек должен обладать следующими основными свойствами: высокой пластичностью, обеспечивающей изготовление оболочки методом штамповки (вытяжки) и врезание пули в нарезы; достаточной прочностью во избежание срыва пули с нарезов при выстреле; низким истирающим действием для обеспечения высокой живучести ствола; хорошей антикоррозийной стойкостью, необходимой в процессе изготовления оболочек и хранения патронов; невысокой стоимостью и недефицитностью (наличие сырьевой базы в стране).

Одним из лучших материалов для пульных оболочек считается мельхиор (сплав 78,5—80,5% меди и 21,5—19,5% никеля). Мельхиор является дорогим сплавом, поэтому повсеместно заменен более дешевыми материалами. Широко применяется для изготовления пульных оболочек малоуглеродистая сталь, плакированная томпаком (биметалл). Томпак сплав 89—91% меди и 11—9% цинка. Его толщина в биметалле составляет 4—6% основного стального слоя. Применение биметалла также сопровождается расходованием дорогого цветного металла.

---

* При испытании пуль Крнка-Хеблера с поддонами из папье-маше они уступали по меткости сплошным пулям такого же веса.

Поэтому наряду с биметаллом широко применяется для изготовления пульных оболочек неплакированная холоднокатаная малоуглеродистая сталь. Изготовленные из нее оболочки покрываются тонким слоем меди или латуни (электролитическим или контактным способом) или лакируются во избежание коррозии и интенсивного износа ствола при стрельбе.

Химический состав некоторых сортов материала показан в табл. 14. Допускается содержание серы и фосфора вместе не более 0,07%. Свойства указанных материалов в исходном состоянии практически одинаковы: временное сопротивление 27—37 кгс/мм^2, местное относительное удлинение около 29%, удельный вес 7,9 гс/см^3.

Таблица 14

Химический состав материала пульных оболочек, %

Материал	C	Mn	Al	Cr	Ni	Si	Cu	S	P	S+P
							не более			
Биметалл 1	0,12—0,20	0,35—0,60	—	0,15	0,30	0,08	0,20	0,04	0,035	0,07
Биметалл 3	<0,11	0,35—0,90	—	0,15	0,30	0,08	0,20	0,04	0,035	0,07
Сталь 11 кп	0,05—0,12	0,30—0,50	—	0,15	0,25	0,60	0,20	0,035	0,030	—
Сталь 11 ЮА	0,08—0,13	0,25—0,50	0,02—0,07	0,15	0,25	0,13	0,20	0,030	0,025	—
Сталь 18 кп	0,12—0,20	0,30—0,50	—	0,15	0,25	0,06	0,20	0,035	0,030	—
Сталь 18 ЮА	0,16—0,22	0,20—0,40	0,02—0,07	0,15	0,25	0,13	0,20	0,030	0,025	—

Материал сердечников оболочечных пуль должен удовлетворять следующим требованиям: сочетание высокой пластичности с достаточной твердостью, необходимое для обеспечения врезания пули в нарезы и заполнения ею поперечного сечения канала ствола; большой удельный вес, позволяющий получить заданный вес пули при минимальных ее размерах (длине); хорошая обрабатываемость штамповкой; дешевизна и недефицитность. Этим требованиям (за исключением последнего) удовлетворяет свинец с добавкой 1—2% сурьмы, он и получил широкое применение. Добавка сурьмы несколько увеличивает твердость сплава. Удельный вес этого материала 11,3—11,4 гс/см^3, температура плавления около 330° С.

Для изготовления стальных сердечников обыкновенных пуль применяется малоуглеродистая сталь, допускающая обработку штамповкой в холодном состоянии. Химический состав различных марок такой стали приводится в табл. 15.

Таблица 15

Химический состав металла пульных сердечников, %

Марка стали	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P	Cu
10	0,07—0,15	0,35—0,65	0,17—0,37	0,15	0,30	0,045	0,04	
15	0,13	0,44	0,26	0,07	0,17	0,026	0,018	
20	0,18—0,25	0,60—0,90	0,17—0,37	0,30	0,30	0,045	0,045	0,20
25	0,27—0,35	0,50—0,80	0,17—0,37	0,30	0,30	0,045	0,040	

Временное сопротивление подобной стали 30—40 кгс/мм^2, относительное удлинение 25—30%, удельный вес 7,9 гс/см^3.

6.4. БРОНЕБОЙНЫЕ ПУЛИ

Характерной особенностью бронебойных пуль (рис. 57) является наличие в их конструкции бронебойного сердечника высокой прочности и твердости, способного проникать в такие прочные преграды, как стальная броня и другие, чем и обусловлено название этих пуль. В конструктивных схемах бронебойных пуль можно заметить две разновидности: у одних пуль в поперечном сечении ведущей части имеется два элемента (оболочка и сердечник), у других — три (оболочка, рубашка и сердечник).

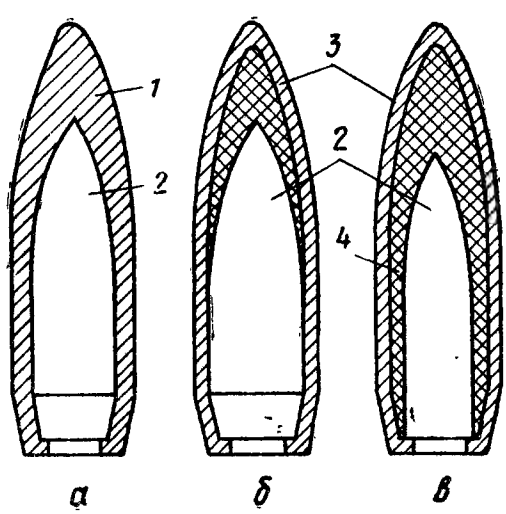


Рис. 57. Бронебойные пули:
а, б — двухслойные; *в* — трехслойная; *1* — корпус; *2* — сердечник; *3* — оболочка; *4* — рубашка

Двухэлементная (двухслойная) конструкция бронебойных пуль обуславливает высокие требования к материалу оболочки —

сочетание высокой пластичности, небольшой твердости и необходимой прочности для обеспечения нормального функционирования пули при выстреле и высокой живучести стволов. Малоуглеродистая сталь для этих целей уже не подходит, требуется медь, мельхиор или томпак, т. е. дорогие и дефицитные материалы, в результате чего двухслойные бронебойные пули не получили широкого применения.

У трехэлементных бронебойных пуль между оболочкой и бронебойным сердечником имеется мягкая, обычно свинцовая рубашка, облегчающая врезание пули в нарезы и предохраняющая тем самым поверхность канала ствола от интенсивного истирания. В этих условиях к материалу оболочки предъявляются менее жесткие требования, и он берется таким, как у оболочек обыкновенных оболочечных пуль. Бронепробивное действие пуль обычно сочетается с другими видами действия, например, зажигательным и трассирующим. Поэтому бронебойный сердечник встречается в бронебойно-зажигательных и бронебойно-зажигательно-трассирующих пулях.

Конструктивными характеристиками бронебойных, как и других видов пуль с бронебойным сердечником, являются относительный вес и относительный диаметр сердечника:

$$m_q = \frac{q_c}{q} \quad \text{и} \quad m_d = \frac{d_c}{d},$$

а также поперечная нагрузка сердечника.

Относительный вес сердечника m_q характеризует использование веса (объема) пули сердечником. Чем он больше, тем выше бронебойные свойства пули при прочих равных условиях. Относительный вес сердечника существующих бронебойных пуль 0,55—0,60; бронебойно-зажигательных пуль со стальным сердечником 0,60—0,65; с карбидовольфрамовым сердечником — 0,65—0,75.

Относительный диаметр сердечника m_d характеризует использование поперечных размеров пули сердечником и равен 0,75—0,85. В указанных пределах значения характеристик увеличиваются с увеличением калибра.

Толщина стенок рубашки составляет обычно несколько десятых миллиметра, во всяком случае не менее двойной глубины нарезов. Для изготовления рубашек применяется свинец без добавки сурьмы. Рубашка получается мягкой, не ломается в производстве при возможном смятии тонких стенок и хорошо обеспечивает врезание пули в нарезы.

Головная часть бронебойного сердечника очерчивается обычно радиусом $(1{,}5 \div 2{,}0)d_c$, что позволяет обеспечить необходимую заостренность вершины и удовлетворительную прочность сердечника при ударе в броню.

6.5. МАТЕРИАЛЫ БРОНЕБОЙНЫХ СЕРДЕЧНИКОВ

К материалам бронебойных сердечников предъявляются следующие основные требования: высокая твердость в готовом изделии; высокая вязкость; большой, по возможности, удельный вес; дешевизна, недефицитность и технологичность в изготовлении.

Широкое применение получили различные сорта высокоуглеродистой (инструментальной) и легированной стали (табл. 16), а также металлокерамические твердые сплавы.

Таблица 16

Химический состав сталей бронебойных сердечников, %

Марка стали	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
У10А	0,95—1,04	0,15—0,30	0,15—0,30	0,15	0,20	⩽0,02	⩽0,03
У12А	1,10—1,25	0,15—0,25	0,30	0,20	0,25	⩽0,02	⩽0,03
У12ХА	1,15—1,25	0,35	0,30	1,45—1,65	0,30	⩽0,03	⩽0,03

Стальные сердечники изготовляются обычно из прутковых заготовок путем механической обработки резанием или шлифованием с последующей термической обработкой — закалкой и низкотемпературным отпуском для уменьшения остаточных внутренних напряжений и повышения прочности. Благоприятные условия для сохранения прочности сердечника и пробития брони создаются при высокой твердости головной части сердечника с постепенным снижением ее по длине в направлении к хвостовой части. Твердость готового стального сердечника составляет обычно *HRC* 64—67. Благоприятно сказывается на пробивном действии сердечника чистота его обработки, особенно в головной части.

Металлокерамические сердечники изготовляются из порошкообразной смеси путем предварительного прессования и последующей выдержки при высокой температуре («спекания»). Основу та-

Таблица 17

Химический состав твердых сплавов, %

Номер сплава	W	C (общий)	C (свободный)	Ni	Co	F и др.
1	86,7—87,3	⩾5,3	⩽0,1	—	6,0—6,5	1,5
2	87—88	⩾5,2	⩽0,1	6,0	—	1,5
3	86,2—87	5,4—6,0	⩽0,25	3,5—4,5	—	1,2

ких смесей составляет обычно порошкообразный карбид вольфрама с добавкой 4—6% порошкообразного кобальта или никеля (табл. 17). Порошок кобальта (никеля) при высокой температуре плавится и сваривает («спекает») зерна карбида вольфрама. Получаются бронебойные сердечники весьма высокой твердости (*HRA* 87—90) и большой плотности (удельный вес 14,5—14,7 гс/см³). Они лучше стальных сердечников пробивают броню, особенно при ударе под углом с нормалью к броне.

Карбидовольфрамовые сердечники дорогие, поэтому применение их крайне ограничено.

6.6. ТРАССИРУЮЩИЕ ПУЛИ

Трассирующие пули (рис. 58) характерны наличием в их устройстве трассирующего состава (трассера), который воспламеняется от пороховых газов при движении пули по каналу ствола и горит при полете пули в воздухе, обозначая (трассируя) траекторию. Они применяются для корректирования огня, целеуказания, сигнализации и в учебных целях для показа траектории полета пули, снопа траекторий, рикошета и т. д.

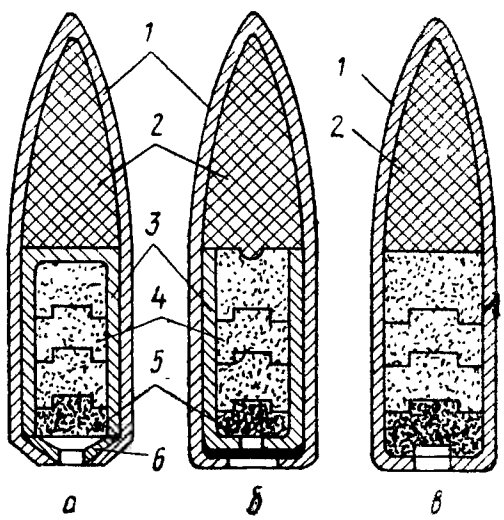


Рис. 58. Трассирующие пули:
а — со стаканчиком и колечком; *б* — с перевернутым стаканчиком без колечка; *в* — без стаканчика и колечка; *1* — оболочка; *2* — сердечник; *3* — стаканчик; *4* — трассирующий состав; *5* — воспламенительный состав; *6* — колечко

Необходимая яркость трассы и дальность трассирования траектории обеспечиваются свойствами трассирующего состава, поперечными и продольными размерами трассера, чем и обусловлены различные схемы трассирующих пуль.

В целях обеспечения равномерного горения трассирующего состава (параллельными слоями) он запрессовывается в несколько приемов или в один прием высоким давлением, превышающим давление газов в канале ствола. В противном случае возможно разрушение состава при выстреле, горение его на большой поверхности и разрыв пули на траектории.

Для надежности воспламенения трассирующего состава от пороховых газов открытая его поверхность делается рельефной

(звездочкой) с помощью инструмента последней запрессовки состава. Иногда последней дозой запрессовывается специальный легковоспламеняющийся состав, называемый в отличие от трассирующего (основного) воспламенительным (вспомогательным) составом.

На полет трассирующей пули влияет форма выходного отверстия и его расположение относительно продольной оси пули. Правильное и концентрично расположенное выходное отверстие трудно получить посредством загиба хвостовой части оболочки, поэтому прибегают к вставке в пулю колечка с отверстием, удерживаемого загнутой частью оболочки.

Такое колечко не требуется, если выходное отверстие образуется в дне стаканчика. Если трассирующий состав запрессовывается в оболочку, то возникает необходимость калибровки (раззенковки) выходного отверстия после штамповки хвостовой части пули.

Во избежание неблагоприятного воздействия внешних атмосферных условий на трассирующий состав (до сборки патрона) и для обеспечения длительного хранения патронов иногда прибегают к покрытию воспламенительного состава каким-либо защитным слоем (лаком, фольгой и т. п.). Однако защитные покрытия снижают надежность воспламенения трассирующего состава и действия трассера.

Особенностью трассирующих пуль является изменение веса и положения центра тяжести пули по мере сгорания трассирующего состава. Поперечное смещение центра тяжести, вызываемое обычно односторонним выгоранием трассирующего состава, делает пули динамически неуравновешенными и вызывает увеличение рассеивания, которое у трассирующих пуль в 1,5—2 раза больше, чем у обыкновенных пуль. Во избежание этого рекомендуется не брать без особой надобности большими поперечные размеры и вес трассирующего состава, применять воспламенительный состав с небольшой скоростью и слабым пламенем горения, что позволяет уменьшить вес трассирующего состава, не уменьшая дальности трассирования, и улучшить маскировку оружия.

Во избежание разрушения запрессованного трассирующего состава в пуле и нарушения нормального горения его на трассирующих пулях обычно не делают канавок для обжима дулец гильз. Крепление трассирующей пули в дульце гильцы обеспечивается, за счет посадки ее в дульце с натягом.

Трассирующие пули обладают зажигательным действием и способны зажигать легковоспламеняемые вещества.

6.7. ТРАССИРУЮЩИЕ СОСТАВЫ

В трассирующих пулях применяются обычно два состава: собственно трассирующий (основной) состав и воспламенительный (вспомогательный) состав.

Таблица 18

Рецептуры трассирующих и воспламенительных составов, %

Компоненты	Вариант трассирующего состава									Вариант воспламенительного состава			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4
Азотнокислый барий	63	—	42	—	—	—	12	—	—	48	48	32,5	26
Азотнокислый стронций	—	60	—	61,5	48	54	—	61,5	49	—	—	—	—
Углекислый стронций	—	—	—	—	—	5	—	—	—	—	—	—	—
Перекись бария	—	—	30	—	—	—	67	—	—	30	—	45	50
Свинцовый сурик	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	—
Алюминий	—	—	—	3	—	—	—	—	15	—	—	—	—
Магний	15	23	22	26	21	21	20	23	15	13	15	15,5	17
Сплав магний—алюминий	15	6	—	—	9	—	—	6	—	—	—	—	—
Идитол	7	—	6	9,5	8	—	1	9,5	8	9	9	7	7
Поливинилхлорид	—	—	—	—	5	9	—	—	13	—	—	—	—
Идитол и канифоль	—	—	—	—	—	11	—	—	—	—	—	—	—
Уротропин фенолоформальдегид	—	—	—	—	9	—	—	—	—	—	—	—	—
Графит	—	11	—	—	0,5	—	—	—	0,5—0,6	—	—	—	—

Примечания: 1. Содержание графита дано сверх 100%. 2. Содержание летучих не более 0,6%.

К трассирующему составу предъявляются следующие требования: хорошая воспламеняемость от пороховых газов или воспламенительного состава; большая сила света при небольшой скорости горения; хорошая спрессовываемость в трассере; отсутствие взрывчатых свойств; небольшой удельный вес; дешевизна и недефицитность.

Применяемые трассирующие составы представляют собой механические смеси горючего вещества и окислителя с добавкой склеивающего вещества (флегматизатора) и в некоторых случаях специальных веществ для окраски пламени.

Алюминий, магний и сплавы этих металлов, обладающие высокой активностью в соединении с кислородом и выделяющие при горении большое количество тепловой (световой) энергии, применяются в качестве горючих веществ.

В качестве окислителей применяются вещества, богатые кислородом и сравнительно легко отдающие его при высоких температурах: перекиси и окиси бария, кальция, стронция; хлораты и перхлораты бария, калия, натрия; нитраты бария, калия, натрия, стронция. В качестве цементатора широкое применение получил идитол, применяется также шеллак, канифоль и другие вещества, являющиеся вместе с тем горючими веществами.

В качестве флегматизатора иногда находят применение касторовое масло, парафин, вазелин и другие вещества, понижающие скорость горения трассирующего состава и чувствительность к механическим воздействиям.

В зависимости от рецептуры трассирующего состава получается различная окраска пламени. Соли бария, например, с любым горючим придают пламени светло-зеленую окраску, соли стронция — красную, натрия — желтую. Предпочтение отдается красной окраске пламени, обеспечивающей хорошую видимость трассы ночью и в яркую солнечную погоду днем.

К *воспламенительным составам* предъявляются несколько иные требования: хорошая воспламеняемость от пороховых газов при движении пули по каналу ствола; достаточно высокая температура горения, необходимая для надежного воспламенения трассирующего состава; высокая механическая прочность в запрессованном виде во избежание разрушения при тряске; негигроскопичность; отсутствие вредного влияния продуктов разложения на поверхность канала ствола; отсутствие (по возможности) свечения при горении в целях лучшей маскировки оружия при стрельбе; невысокая скорость горения.

Применяемые воспламенительные составы состоят обычно из тех же компонентов, что и трассирующие составы (табл. 18). К каждому трассирующему составу подбирается свой воспламенительный состав.

Наряду с трассирующими и воспламенительными составами

в трассерах применяют в последние годы переходные составы, содержащие смеси трассирующих и воспламенительных составов в определенных пропорциях, например 50 и 50%.

6.8. ЭЛЕМЕНТЫ РАСЧЕТА ТРАССЕРОВ

При проектировании трассирующей пули стоит задача обеспечить заданную дальность трассирования и яркость трассы, а при исследовании — определить (оценить) эти характеристики.

Первая задача обычно решается так: по заданной дальности трассирования $X_т$, начальной скорости v_0 и баллистическому коэффициенту пули c, пользуясь таблицами основных функций, определяем конечную скорость пули на дальность трассирования и полетное время

$$T = \frac{1}{c}[T(v_c) - T(v_0)], \qquad (6.8.1)$$

а затем необходимую длину трассирующего состава (рис. 59)

$$l_т = u_т T, \qquad (6.8.2)$$

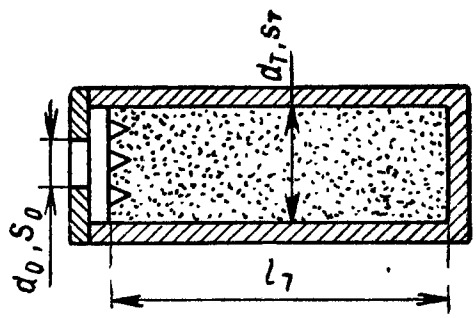


Рис. 59. Схема трассера

где $u_т$ — скорость горения трассирующего состава в пуле (порядка 3—4 мм/с);

Яркость трассы сохраняется, если при аналогичном трассирующем составе сохраняется постоянным произведение $s_т u_т$, так что по данным одной пули (трассеру) можно получить для другой

$$s_т = \frac{u_{т1}}{u_т} s_{т1},$$

где $s_т$ — площадь поперечного сечения трассирующего состава.

Если поставлена задача сохранить яркость трассы при меньших поперечных размерах трассирующего состава, то необходимо увеличить скорость его горения за счет изменения химического состава (уменьшения флегматизатора) и соотношения поперечных размеров трассирующего состава и выходного отверстия. С уменьшением диаметра выходного отверстия скорость горения состава обычно несколько увеличивается вследствие увеличения давления в трассере.

Оценить дальность трассирования существующей пули можно в обратном порядке: по формуле (6.8.2) определить время горения трассирующего состава, по формуле (6.8.1) или по таблицам стрельбы определить скорость пули в конце трассирования, а затем определить дальность трассирования

$$X_т = \frac{1}{c}[Д(v_c) - Д(v_0)].$$

6.9. ОПЫТНАЯ ПРОВЕРКА ДАЛЬНОСТИ И БЕЗОТКАЗНОСТИ ТРАССИРОВАНИЯ

Опытная стрельба проводится в темное время суток патронами, выдержанными при температуре +20, +50 и —50° С в течение не менее 4 ч.

Результаты стрельбы фиксируются наблюдателями, расположенными на линии огня, на дальности 250 м от линии огня и на дальности, до которой должно обеспечиваться трассирование пуль согласно тактико-техническим требованиям или техническим условиям, на удалении от основного направления стрельбы не менее 50 м в целях безопасности.

Стрельба ведется одиночными выстрелами со скорострельностью не более 60 выстрелов в минуту при угле возвышения оружия от 10 до 20° из закрепленного на станке оружия. При каждой температуре делается 100 выстрелов, из них не менее 10 выстрелов с замером времени трассирования.

Наблюдатель на линии огня фиксирует последовательность стрельб, количество произведенных выстрелов, количество задержек, отказов в трассировании и замеряет время трассирования с помощью секундомера. Наблюдатели на удалении от линии огня фиксируют количество пуль из серии выстрелов, обеспечивающих дальность трассирования, на которой они находятся.

Оценка результатов испытаний производится по тактико-техническим требованиям или техническим условиям. При отсутствии особых указаний патроны считаются выдержавшими испытания, если при каждой температуре патронов зафиксировано не менее 80% трассирования пуль на дальности, заданной тактико-техническим заданием или чертежом, не менее 90% — на дальности 250 м и не менее 80% пуль — с заданным временем трассирования.

Стрельба на определение видимости трассы в дневное время проводится в солнечную погоду, когда солнце находится сзади или сбоку от стреляющего, по фанерным щитам или ориентирам на местности согласно программе испытаний или техническим условиям. Наблюдатели располагаются на линии огня, около стрелка, справа и слева от него на удалении 15 м при стрельбе одиночным огнем и на удалении 80 м при стрельбе автоматическим огнем.

Производится 100 выстрелов одиночным огнем со скорострельностью не более 60 выстрелов в минуту, 100 выстрелов короткими очередями (3—5 выстрелов в очереди) и 100 длинными очередями по 10—15 выстрелов, если это предусматривается для данного вида оружия.

При оценке результатов стрельбы одиночным огнем наблюдатели около стрелка и в удалении 15 м от него должны зафиксировать не менее 80% трасс до щитов (ориентиров), установленных

на предельной дальности трассирования, а наблюдатели на удалении 80 м от стрелка должны зафиксировать факт трассирования до всех щитов и ориентиров.

6.10. ЗАЖИГАТЕЛЬНЫЕ ПУЛИ

Зажигательные пули (рис. 60), получившие применение как средство воспламенения (зажигания) легковоспламеняющихся целей, встречаются двух видов: с непрерывным горением зажигательного состава на траектории и с зажигательным действием при ударе пули в преграду.

Пули первого вида снаряжаются самовоспламеняющимся в атмосфере зажигательным составом, обычно белым фосфором. Для выхода фосфора наружу в боковых стенках оболочки предусматриваются отверстия, запаянные легкоплавким сплавом, который плавится при движении пули по каналу ствола и открывает отверстия. Под действием центробежных сил фосфор вытекает через отверстия наружу и, соединяясь с кислородом воздуха, воспламеняется. При соприкосновении с легковоспламеняющимися веществами такая пуля воспламеняет их в любой точке траектории.

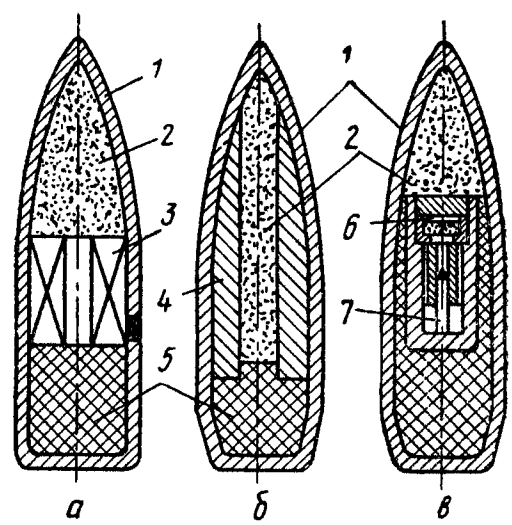


Рис. 60. Зажигательные пули:
а — дистанционная; *б* — ударная; *в* — ударная с взрывателем; *1* — оболочка; *2* — зажигательный состав; *3* — инерционное тело; *4* — трубчатый сердечник; *5* — поддон; *6* — капсюль; *7* — ударный механизм

Для проявления зажигательного действия такого вида пуль не требуется какое-либо сопротивление движению пули в виде удара. В этом смысле они обладают высокой чувствительностью к действию по целям малого сопротивления. Эффективность их действия по целям зависит от дальности, поскольку часть зажигательного состава расходуется на траектории еще до встречи с целью.

Этот недостаток отсутствует у пуль второго вида, действующих только при ударе в цель. Воспламенение зажигательного состава у этих пуль основывается обычно также на его взаимодействии с кислородом воздуха. При ударе в цель пуля разрушается, зажигательный состав — белый или желтый фосфор — разбрызгивается, и, взаимодействуя с кислородом воздуха, воспламеняется и зажигает цель. Для проявления зажигательного действия требует-

ся необходимое сопротивление преграды. В этом смысле ударные зажигательные пули не обладают высокой чувствительностью.

С целью повышения чувствительности в конструкциях ударных зажигательных пуль предусматриваются меры, обеспечивающие разрушение оболочки при встрече с преградами небольшого сопротивления. Это достигается различными пулями: ослаблением оболочки в головной части, размещением позади зажигательного состава инерционного тела, установкой в пуле взрывательного устройства и т. п.

Фосфорные зажигательные пули требуют особых условий снаряжения, хранения и особой осторожности в обращении. Поэтому широкое применение получили пули с пиротехническими зажигательными составами, не имеющие недостатков фосфорных пуль. Пиротехнические зажигательные составы применяются обычно в пулях комбинированного действия (бронебойно-зажигательные, пристрелочно-зажигательные, бронебойно-зажигательно-трассирующие). Они имеют такую же природу, как и трассирующие составы. Цементатор и флегматизатор применяются в зажигательных составах сравнительно редко вследствие особых условий его запрессовки (замкнутый объем) и отсутствия ограничения скорости горения.

Приводим для примера рецептуру двух зажигательных составов:

перхлорат калия (окислитель) 55% и сплав магния с алюминием в соотношении 1 : 1 (горючее) 45%;

азотнокислый барий 50% и сплав магния с алюминием 50%.

6.11. РАЗРЫВНЫЕ (ПРИСТРЕЛОЧНЫЕ) ПУЛИ

Разрывные пули при встрече с преградами разрываются за счет детонации разрывного заряда и дают поэтому увеличенную область поражения в сравнении с другими видами пуль. Этим определилось их основное назначение — стрельба по воздушным целям. Яркая вспышка и облачко дыма при разрыве пули позволяют наблюдать за результатами стрельбы и корректировать огонь на местности (пристреливаться), поэтому такие пули называют еще пристрелочными.

Эффективность действия разрывных пуль определяется количеством и качеством (мощностью) взрывчатого вещества в разрывном заряде , а также совершенством конструкции взрывателя. Разрывные пули обладают также зажигательным действием. Для увеличения зажигательного действия пули в разрывной заряд добавляется зажигательный состав термитного типа.

Разрывные пули нормального калибра (рис. 61) снабжаются обычно инерционными взрывателями, размещаемыми позади разрывного заряда. До выстрела ударник удерживается предохранителем, что обеспечивает безопасность обращения с патронами. При выстреле предохранитель под действием сил инерции сдви-

гается по ударнику, взрыватель взводится, а при ударе пули в цель ударник накалывает капсюль, под действием которого детонирует разрывной заряд.

Расположение разрывного заряда в головной части пули, а ударного механизма за разрывным зарядом не способствует рациональному использованию энергии разрывного заряда и получению высокой эффективности действия разрывной пули значительной продолжительности действия инерционного взрывателя и разрушения разрывного заряда прежде, чем он детонирует. Однако этого недостатка трудно избежать у пуль нормального стрелкового калибра.

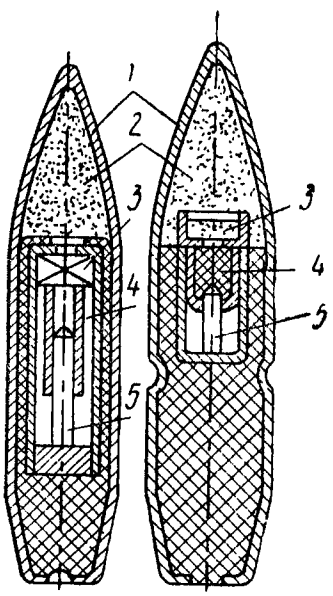


Рис. 61. Разрывные пули инерционного действия:
1 — оболочка; *2* — взрывчатое вещество; *3* — капсюль; *4* — предохранитель; *5* — ударник

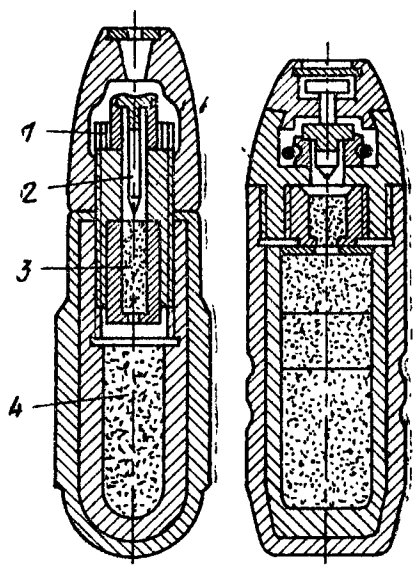


Рис. 62. Разрывные пули мгновенного действия:
1 — предохранитель; *2* — ударник; *3* — капсюль-детонатор; *4* — взрывчатое вещество

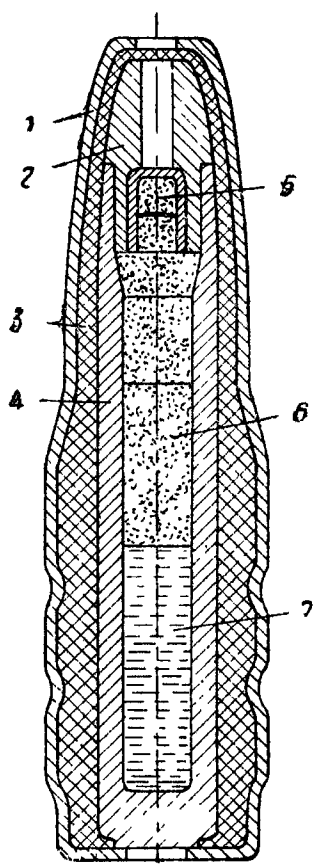


Рис. 63. Зажигательно-разрывная пуля мгновенного действия:
1 — оболочка; *2* — втулка; *3* — рубашка; *4* — стакан; *5* — капсюль-детонатор; *6* — взрывчатое вещество; *7* — зажигательный состав

Крупнокалиберные разрывные пули имеют, как правило, взрыватели мгновенного действия с центробежными предохранителями, расположенные в головной части (рис. 62). Такое устройство обеспечивает высокую чувствительность пуль к сопротивлению преград и высокую эффективность разрывного действия.

Особенностью в устройстве обладает отечественная пуля мгновенного действия (рис. 63), не имеющая ударника. Капсюль у нее действует от осколков головного колпачка и преграды при ударе пули в цель.

В качестве взрывчатых веществ в разрывных пулях применяются тротил, тетрил и ТЭН, реже дымный порох. Тротил является мощным взрывчатым веществом, мало чувствительным к удару и трению. Его удельный вес около 1,6 гс/см^3. Тетрил, обладая высокими взрывчатыми качествами, более чувствителен к удару, чем тротил, и легче детонирует. В целях безопасности его сплавляют с 30—40% тротила для понижения чувствительности. ТЭН является сильным взрывчатым веществом, обладающим всеми необходимыми качествами для снаряжения разрывных пуль.

6.12. ПУЛИ КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ

Пули комбинированного действия имеют в своем устройстве элементы рассмотренных ранее специальных пуль и сочетают соответствующие им виды специального действия.

Бронебойно-трассирующие пули имеют бронебойный сердечник и трассер и сочетают бронебойное действие с трассирующим.

Бронебойно-зажигательные пули сочетают бронепробивное действие с зажигательным действием (рис. 64). Они являются эффективным средством для поражения легковоспламеняющихся веществ, закрытых броней (бензобаки боевых машин).

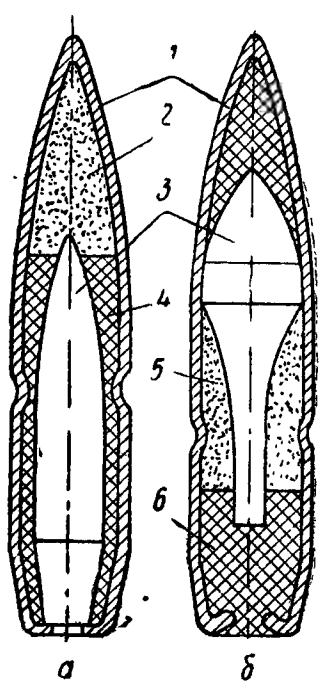


Рис. 64. Бронебойно-зажигательные пули:
а — пиротехническая; *б* — фосфорная; *1* — оболочка; *2* — зажигательный состав; *3* — сердечник; *4* — рубашка; *5* — фосфор; *6* — поддон

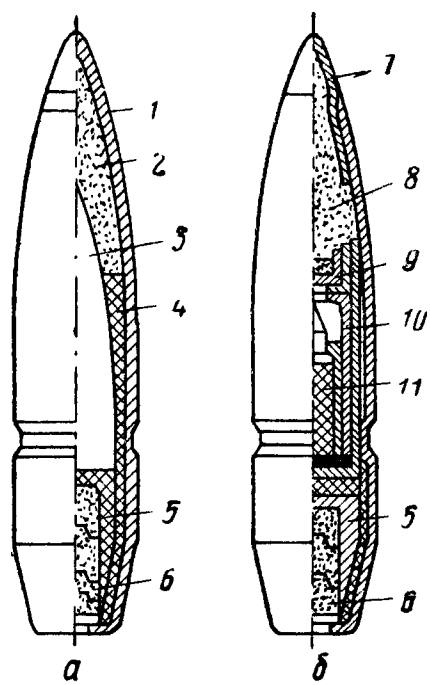


Рис. 65. Пули БЗТ (а) и ЗП (б):
1 — оболочка; *2* — зажигательный состав; *3* — сердечник; *4* — рубашка; *5* — стаканчик; *6* — трассирующий состав; *7* — головной колпачок; *8* — взрывчатое вещество; *9* — капсюль; *10* — предохранитель; *11* — ударник

В качестве зажигательного вещества в бронебойно-зажигательных пулях применяется пиротехнический состав и реже фосфор. Первый срабатывает от динамического сжатия при ударе пули в преграду достаточного сопротивления (броню), а второй — в результате разрушения оболочки и взаимодействия с атмосферным кислородом.

Для повышения чувствительности фосфорных пуль, разрушения их при встрече с преградами небольшого сопротивления иногда головная часть оболочки ослабляется. Расположение зажигательного состава в головной части пули, перед бронебойным сердечником, приводит к неэффективному его использованию: большая часть состава рассеивается перед броней и лишь небольшая часть его затягивается сердечником в образованную им пробоину.

Во избежание этого недостатка иногда размещают зажигательный состав за бронебойным сердечником. Для воспламенения пиротехнического зажигательного состава в этом случае требуется наличие элементов устройства, способных обеспечить достаточное динамическое сжатие состава при ударе пули в преграду.

Бронебойно-зажигательно-трассирующие пули (рис. 65, а) отличаются от предыдущих пуль наличием трассера, который существенно усиливает зажигательное действие этого типа пуль, вместе с тем ослабляет бронепробивное действие, так как уменьшает длину и вес бронебойного сердечника.

К числу комбинированных пуль относится 14,5-мм зажигательная пуля (ЗП) (см. рис. 65, *б*), она позволяет поджигать горючее, деревянные здания, солому, стога сена, сухую траву и другие легковоспламеняющиеся предметы. В головной части эта пуля содержит пиротехнический зажигательный состав, в средней части ударный механизм и в хвостовой части трассер. Предохранителем ударного механизма инерционного типа служит набегающий колпачок, оседающий при выстреле на ударник с жалом и освобождающий его для накола капсюля при встрече с целью.

Глава 7

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПУЛЬ ПРИ ПОЛЕТЕ В ВОЗДУХЕ

7.1. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ПУЛЮ ПРИ ПОЛЕТЕ В ВОЗДУХЕ

На пулю при полете в воздухе действуют две внешние силы: сила сопротивления воздуха R и сила тяжести (вес) q (рис. 66). Точку приложения силы сопротивления воздуха как равнодействующей поверхностных сил называют центром сопротивления (ц.с.)*, а точку приложения силы веса — центром тяжести (ц.т.).

Сила сопротивления воздуха направлена под некоторым углом α относительно касательной к траектории. Для лучшего выяснения характера действия этой силы на летящую пулю приведем ее к центру тяжести пули. Приложив к центру тяжести две силы, равные по величине силе R и направленные в противоположные стороны параллельно силе R, и разложив одну из них на две составляющие, одна из которых направлена по касательной к траектории, а другая — перпендикулярно к ней, получим систему сил R_T, R_N, q, приложенных к центру тяжести, и пару сил RR, опрокидывающих пулю в плоскости чертежа.

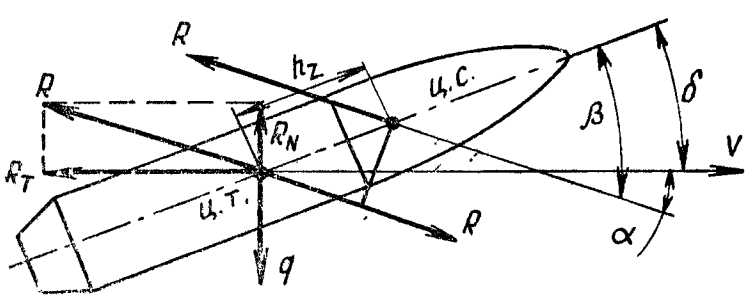


Рис. 66. Схема сил, действующих на пулю при полете в воздухе

Сила q, как известно, вызывает понижение пули в полете, вследствие чего траектория получается изогнутой в плоскости стрельбы. Сила R_T называется лобовым сопротивлением и вызывает замедление полета пули, в результате чего нисходящая ветвь траектории получается короче восходящей.

---

* Эту точку называют еще центром давления.

Сила R_N называется нормальной силой и вызывает смещение центра тяжести от касательной к траектории. Поскольку схема сил, показанная на рис. 66, вращается вокруг касательной к траектории(за исключением силы q, которая сохраняет направление и величину), постольку центр тяжести в результате действия силы R_N описывает винтовую (спиральную) линию вокруг той же касательной.

Пара сил RR дает момент

$$M = Rh_z \sin\beta, \qquad (7.1.1)$$

который называется опрокидывающим моментом, если центр сопротивления находится впереди центра тяжести, или стабилизирующим моментом, если центр сопротивления (давления) находится позади центра тяжести.

7.2. СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПУЛЬ (СНАРЯДОВ)

Полет пули (снаряда) в воздухе называется устойчивым, если угол δ, образованный продольной осью пули и касательной к траектории центра тяжести, не увеличивается со временем, а уменьшается. Если этот угол под действием опрокидывающего момента увеличивается, то пуля будет опрокидываться, ее полет будет неустойчивым.

На практике получили применение два способа обеспечения устойчивого полета пуль (снарядов) в воздухе. Первый способ заключается в смещении центра сопротивления (ц.с.) назад, за центр тяжести (ц.т.) за счет оперения (стабилизатора). В этом случае момент, определяемый выражением (7.1.1), перестает быть опрокидывающим и становится стабилизирующим. Он возникает всякий раз, как только ось снаряда оказывается отклоненной от касательной к траектории. Так обеспечивается устойчивость полета авиабомб, мин, большинства реактивных снарядов (неуправляемых ракет) и оперенных (стреловидных) пуль.

Второй способ обеспечения устойчивости заключается в сообщении пуле (снаряду) большой угловой скорости вращения вокруг продольной геометрической оси. В этом случае пуля (снаряд) приобретает свойства гироскопа, и действие опрокидывающего момента не вызывает увеличения угла нутации δ и опрокидывания пули в полете, а приводит к прецессии, т. е. повороту оси пули вокруг касательной к траектории.

Широко практикуется вращение оперенных снарядов, устойчивость которых обеспечивается стабилизатором. Вращательное движение снаряда, полученное за счет наклона лопастей стабилизатора или наклона сопел реактивного двигателя, способствует обеспечению устойчивости, но сообщается оно не для этой цели, а для уменьшения рассеивания снарядов. Эксцентриситет силы

тяги, несимметричность геометрической формы снаряда и внешних сил, действующих на него при полете в воздухе, при отсутствии вращения могли бы увести снаряд в сторону. При вращении снаряда всякие боковые возмущения меняют направление и сами себя компенсируют, обеспечивая хорошую кучность.

7.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ХОДА НАРЕЗОВ

Вращательное движение пули или снаряда достигается путем необходимого наклона нарезов в дульной части канала ствола. Углу наклона нарезов в дульной части $\alpha_д$ соответствует определенная длина хода (шаг) нарезов η, выраженная в калибрах:

$$\operatorname{tg}\alpha_д = \frac{\pi}{\eta}. \qquad (7.3.1)$$

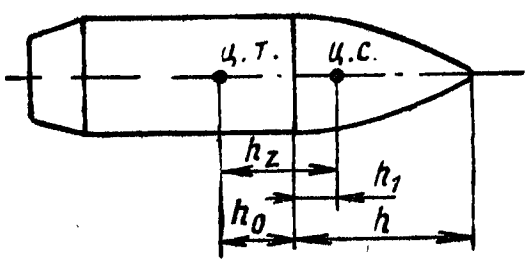


Рис. 67. Определение положения центра сопротивления воздуха

В курсах внешней баллистики выводится следующая формула для определения длины хода нарезов, обеспечивающей нормальную устойчивость пули (снаряда) при полете в воздухе:

$$\eta = a\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{J_A}{J_B}\,\frac{\mu}{z}\,\frac{c_q}{k_M}}, \qquad (7.3.2)$$

где $a = 0{,}75 \div 0{,}85$ — коэффициент запаса устойчивости;

J_A — полярный момент инерции пули (относительно продольной геометрической оси);

J_B — экваториальный момент инерции пули (относительно поперечной оси, проходящей через центр тяжести);

$\mu = \frac{4gJ_A}{qd^2}$ — квадрат отношения радиуса инерции пули к полукалибру;

$z = \frac{h_z}{d}$ — расстояние между ц.т. пули и ц.с. воздуха, выраженное в калибрах, (рис. 67)

$$z = \frac{h_0 + 0{,}57h}{d} - 0{,}16; \qquad (7.3.3)$$

$k_M = k_{M_т}\sqrt{\frac{l_п}{4{,}5d}}$ — аэродинамическая функция опрокидывающего момента, определяемая опытным путем;

$l_п$ — длина пули;

$k_{M_т}$ — табличное значение функции для пули (снаряда) длиной 4,5 калибра.

Значения $k_{M_т}$ приводятся в табл. 19.

Таблица 19

Значения функции $k_{M_т}$

v, м/с	$k_{M_т}\cdot 10^3$	v, м/с	$k_{M_т}\cdot 10^3$	v, м/с	$k_{M_т}\cdot 10^3$
200	0,97	450	1,04	700	0,96
280	0,98	500	1,03	740	0,95
300	1,00	520	1,02	800	0,93
320	1,03	540	1,01	850	0,92
340	1,06	580	1,00	900	0,91
400	1,07	600	0,99	1000	0,90
420	1,06	640	0,98	1100	0,89
440	1,05	680	0,97	1500	0,80

7.4. ОСОБЫЕ СЛУЧАИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПУЛЬ

1. При стрельбе с самолета по курсу вперед, характерной для ведения огня истребителем, скорость снаряда относительно земли (воздуха) складывается из скорости снаряда относительно самолета (оружия) $v_д$ и скорости самолета $v_{см}$. Эта скорость $(v_д + v_{см})$ определяет аэродинамическое сопротивление воздуха, включая и функцию (обозначим ее для этого случая $k_{M_{см}}$). Вращение же пули определяется скоростью $v_д$. Поэтому формула (7.3.2) примет вид

$$\eta_{см} = \frac{v_д}{v_д + v_{см}} a \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{J_A}{J_B} \frac{\mu}{z} \frac{c_q}{k_{M_{см}}}}. \qquad (7.4.1)$$

Отсюда следует, что для авиационного оружия, стреляющего по курсу самолета вперед, длина хода нарезов должна быть меньше (нарезы круче) по сравнению с наземным оружием и зависит от скорости самолета. Наибольшие значения функция $k_{M_{см}}$ имеет при малых значениях высот (около земли). Учитывая, что

она мало меняется при небольшом изменении скорости, можно принять $k_{M\text{см}} \approx k_M$ и

$$\eta_{\text{см}} = \frac{v_{\text{д}}}{v_{\text{д}} + v_{\text{см}}} \eta. \qquad (7.4.2)$$

2. При использовании существующей пули, для которой известна длина хода нарезов η_1, обеспечивающая нормальную устойчивость ее при скорости v_1, для стрельбы с другой скоростью v_2, потребуется другая длина хода нарезов. Как следует из выражения (7.3.2), она должна быть определена так:

$$\eta_2 = \sqrt{\frac{k_{M1}}{k_{M2}}}\, \eta_1,$$

где k_{M1}, k_{M2} — значения функции k_M для скоростей v_1 и v_2 соответственно.

Для скоростей пули свыше 400 м/с при $v_2 > v_1$ $k_{M2} < k_{M1}$ и $\eta_2 > \eta_1$, т. е. с увеличением начальной скорости пули должна увеличиваться и длина хода нарезов. Увеличение это незначительно, если учесть медленное изменение функции k_M с изменением скорости, и практически изменения длины хода нарезов не требуется при значительных изменениях скорости пули.

3. В случае применения подкалиберного снаряда с отделяющимся поддоном (рис. 68) в выражение (7.3.2) должны войти характеристики снаряда (сердечника) без поддона. Тогда длина хода нарезов $\eta_{\text{с}}$ будет получена в диаметрах сердечника $d_{\text{с}}$, а не в калибрах d.

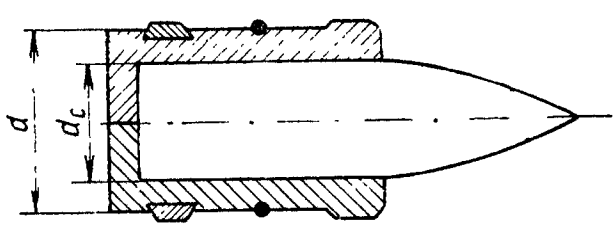


Рис. 68. Подкалиберный снаряд с отделяющимся поддоном

Перейти к длине хода нарезов η в калибрах можно, сохранив угловую скорость вращательного движения сердечника или шаг нарезов

$$\eta_{\text{с}} d_{\text{с}} = \eta d,$$

откуда

$$\eta = \frac{d_{\text{с}}}{d} \eta_{\text{с}}.$$

7.5. КРУТИЗНА НАРЕЗОВ

Если длина хода нарезов η известна, то можно определить угол наклона (крутизну) нарезов у дульного среза

$$\operatorname{tg}\alpha_д = \frac{\pi}{\eta}.$$

Если угол наклона нарезов одинаков на всей длине нарезной части ствола, то такие нарезы называются нарезами постоянной крутизны. Если угол наклона нарезов меняется, увеличивается по мере движения по каналу ствола от казенной части к дульной, то такие нарезы называются нарезами прогрессивной крутизны. Нарезы прогрессивной крутизны делаются с целью уменьшения давления ведущего устройства (оболочки) на боевые грани нарезов и уменьшения таким образом износа нарезной части ствола, а также обеспечения прочности ведущего устройства.

Уравнение нареза прогрессивной крутизны, развернутого на плоскости, принимается обычно в виде параболы (рис. 69):

$$y = kx^2;$$

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg}\alpha = 2kx = k_\alpha x,$$

следовательно,

$$\operatorname{tg}\alpha_0 = k_\alpha l_0; \qquad (7.5.1)$$

$$\operatorname{tg}\alpha_д = k_\alpha(l_0 + l_д') = \operatorname{tg}\alpha_0 + k_\alpha l_д'. \qquad (7.5.2)$$

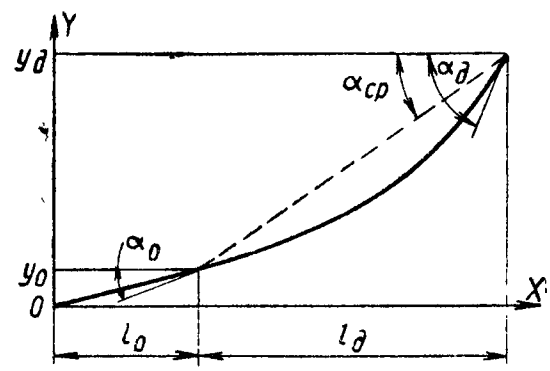


Рис. 69. Изменение крутизны нарезов

Из выражений (7.5.2) и (7.5.1) имеем

$$k_\alpha = \frac{\operatorname{tg}\alpha_д - \operatorname{tg}\alpha_0}{l_д'} = \frac{\operatorname{tg}\alpha_д - \operatorname{tg}\alpha_0}{l_д - a_1}; \qquad (7.5.3)$$

$$l_0 = \frac{\operatorname{tg}\alpha_0}{k_\alpha} = \frac{\operatorname{tg}\alpha_0}{\operatorname{tg}\alpha_д - \operatorname{tg}\alpha_0}(l_д - a_1),$$

где $l_д$ — полный путь пули в канале ствола;

a_1 — расстояние от донного среза до начала ведущего пояска снаряда (ведущей части пули);

α_0 — начальный угол наклона нарезов, определяемый по эмпирической зависимости, полученной из условия равномерного давления ведущего устройства на боевые грани нарезов,

$$\alpha_0 = (0.21 + 0{,}65\eta_p)\alpha_д;$$

$\eta_p = \frac{p_{ср}}{p_{max}}$ — коэффициент полноты диаграммы давления по пути или мера «бризантности» пороха.

Зная k_α и α_0, можно определить

$$x = l_0 + l_x = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}\alpha_д - \operatorname{tg}\alpha_0}(l_д - a_1) + l_x,$$

где l_x — путь ведущей части (пояска) по каналу ствола.

Угол наклона нарезов в любой точке

$$\operatorname{tg}\alpha = k_\alpha x = \operatorname{tg}\alpha_0 + (\operatorname{tg}\alpha_д - \operatorname{tg}\alpha_0)\frac{l_x}{l_д - a_1}. \qquad (7.5.4)$$

7.6. ВЫРАЖЕНИЯ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЛЬ

Для определения длины хода нарезов и обеспечения устойчивости пуль при полете в воздухе необходимо уметь определять динамические характеристики пуль. К ним относятся: вес пули, положение ее центра тяжести относительно хвостового среза, полярный и экваториальный моменты инерции.

Для определения этих характеристик условимся различать в пуле:

элементы — однородные части пули (оболочка, сердечник, рубашка и т. п.);

участки элементов пули, имеющие однородное очертание (цилиндр, усеченный конус, головная часть и т. п.).

Все последующие расчеты относятся к участкам однородных элементов пули, поэтому целесообразно вначале определять объемные характеристики (объем вместо веса, положение центра объема, моменты инерции объема вместо массы). Переход от объемных характеристик к весовым легко осуществляется на последней стадии расчетов путем учета плотности материала.

Объемные характеристики произвольного участка элемента пули (рис. 70) определяются следующими зависимостями:

объем

$$v_i = \int_0^h \pi R_z^2 dz; \qquad (7.6.1)$$

положение центра объема участка относительно его основания

$$z_i = \frac{\int_0^h \pi R_z^2 z dz}{v_i}; \qquad (7.6.2)$$

полярный момент инерции объема участка

$$A_i = \int_0^h \frac{\pi}{2} R_z^4 dz; \qquad (7.6.3)$$

экваториальный момент инерции объема участка относительно поперечной оси, проходящей через центр тяжести пули,

$$B_i = \frac{1}{2} A_i + \left(\int_0^h \pi R_z^2 z^2 dz - v_i z_i^2 \right) + v_i l_i^2. \qquad (7.6.4)$$

Последняя зависимость получается путем последовательного переноса осей (рис. 71). Сначала определяется момент инерции относительно оси, проходящей по основанию участка элемента.

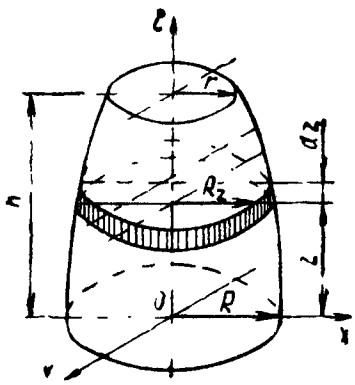


Рис. 70. Размеры произвольного участка элемента пули

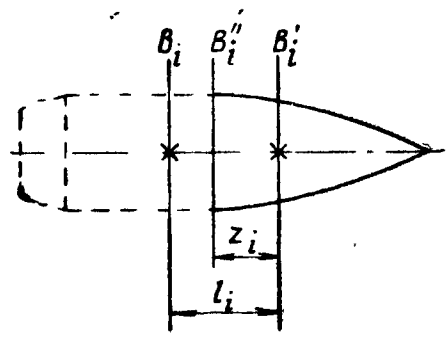


Рис. 71. Перенос осей при определении экваториального момента инерции

Для этого используется известная теорема механики: момент инерции тела относительно взятой оси равен сумме моментов инерции относительно двух взаимно перпендикулярных плоскостей, пересекающихся по данной оси, т. е.

$$B_i'' = B_0 + A_M, \qquad (7.6.5)$$

где B_0 — момент инерции участка относительно плоскости его основания;

A_M — момент инерции участка относительно плоскости продольного сечения его.

Применяя эту же теорему к полярному моменту инерции, получаем:

$$A_i = 2A_M \text{ или } A_M = \frac{1}{2} A_i.$$

Момент инерции относительно плоскости большего основания

$$B_0 = \int_0^h \pi R_z^2 z^2 dz.$$

Подставляя полученные выражения для A_M и B_0 в выражение (7.6.5), получаем

$$B_i'' = \frac{1}{2} A_i + \int_0^h \pi R_z^2 z^2 dz. \qquad (7.6.6)$$

Переходя к оси, проходящей через центр тяжести участка элемента, получаем

$$B_i' = B_i'' - v_i z_i^2,$$

а затем, перейдя к оси, проходящей через центр тяжести пули, найдем

$$B_i = B_i' + v_i l_i^2 = B_i'' - v_i z_i^2 + v_i l_i^2.$$

С учетом выражения (7.6.6) можно получить записанное ранее выражение (7.6.4). Существуют различные способы вычисления динамических характеристик пуль по общим выражениям (7.6.1) — (7.6.4).

7.7. СПОСОБ В. М. ТРОФИМОВА ДЛЯ УСЕЧЕННОГО КОНУСА

Наиболее распространенным способом вычисления динамических характеристик пуль и снарядов является способ В. М. Трофимова, получивший еще название основного способа. Если взять достаточно коротким участок элемента любого очертания, то в общем случае его можно представить в виде усеченного конуса (рис. 72), радиус боковой поверхности которого определяется зависимостью

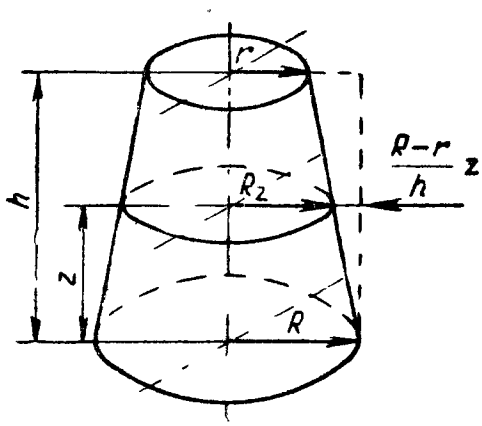


Рис. 72. Размеры усеченного конуса

$$R_z = R_i - \frac{R_i - r_i}{h_i} z.$$

Объем усеченного конуса получается из общего выражения (7.6.1) после подстановки в него выражения для радиуса R_z

$$v_i = \frac{\pi h_i}{3}(R_i^2 + R_i r_i + r_i^2).$$

Введя обозначение $\rho = \frac{r_i}{R_i}$, получим

$$v_i = \frac{1}{3}\pi R_i^2 h_i (1 + \rho + \rho^2)$$

или

$$v_i = \alpha R_i^2 h_i, \qquad (7.7.1)$$

где

$$\alpha = \frac{\pi}{3}(1 + \rho + \rho^2),$$

Значения коэффициента α находятся по таблицам В. Г. Гаврилова (см. приложение 1, табл. 9). Крайние значения: для цилиндра $\rho = 1$ и $\alpha = \pi$; для полного конуса $\rho = 0$ и $\alpha = \frac{\pi}{3}$.

Положение центра тяжести усеченного конуса относительно большего основания определяется аналогичным образом. Подставив выражения для R_z и v_i в выражение (7.6.2), получим

$$z_i = \frac{\frac{1}{12}\pi R_i^2 h_i^2 (1 + 2\rho + 3\rho^2)}{\alpha R_i^2 h_i}$$

или

$$z_i = \beta h_i,$$

где

$$\beta = \frac{1}{4}\,\frac{1 + 2\rho + 3\rho^2}{1 + \rho + \rho^2}.$$

Значения коэффициента β определяются также по таблицам В. Г. Гаврилова. Крайние значения: для цилиндра $\rho = 1$ и $\beta = \frac{1}{2}$; для полного конуса $\rho = 0$ и $\beta = \frac{1}{4}$.

Полярный момент инерции получается таким же образом:

$$A_i = \frac{\pi}{10} R_i^4 (1 + \rho + \rho^2 + \rho^3 + \rho^4) h_i.$$

Учитывая, что по выражению (7.7.1) $R_i^2 h_i = \frac{v_i}{\alpha}$, получаем

$$A_i = \frac{\pi}{10} R_i^2 v_i \,\frac{1 + \rho + \rho^2 + \rho^3 + \rho^4}{\alpha},$$

или

$$A_i = \mu v_i R_i^2,$$

где

$$\mu = 0{,}3\,\frac{1+\rho+\rho^2+\rho^3+\rho^4}{1+\rho+\rho^2}.$$

Значения μ определяются по аналогичным таблицам (см. приложение 1, табл. 9) и располагаются в пределах $0{,}3 \leqslant \mu \leqslant 0{,}5$.

Аналогичным образом определяется экваториальный момент инерции. Входящий в выражение (7.6.4) интеграл

$$\int_0^h \pi R_z^2 z^2 dz = \frac{\pi}{30} R_i^2 h_i^3 (1 + 3\rho + 6\rho^2).$$

Так как $R_i^2 h_i = \frac{v_i}{\alpha}$, то

$$\int_0^h \pi R_z^2 z^2 dz = v_i h_i^2 \frac{1+3\rho+6\rho^2}{10(1+\rho+\rho^2)}.$$

В скобках выражения (7.6.4) имеем

$$\int_0^h \pi R_z^2 z^2 dz - v_i z_i^2 = v_i h_i^2 \left[\frac{1+3\rho+6\rho^2}{10(1+\rho+\rho^2)} - \left(\frac{1}{4}\,\frac{1+2\rho+3\rho^2}{1+\rho+\rho^2}\right)^2\right],$$

или

$$\int_0^h \pi R_z^2 z^2 dz - v_i z_i^2 = \nu v_i h_i^2.$$

Подставив последнее выражение в выражение (7.6.4), получим

$$B_i = \frac{1}{2} A_i + \nu v_i h_i^2 + v_i l_i^2,$$

где

$$\nu = \frac{3}{80} \cdot \frac{(1+\rho)^4 + 4\rho^2}{(1+\rho+\rho^2)^2}.$$

Значения ν находятся в пределах $\frac{3}{80} \leqslant \nu \leqslant \frac{1}{12}$.

Выведенные для усеченного конуса формулы позволяют вычислить динамические характеристики отдельных участков пули, ограниченных цилиндрическими и коническими поверхностями. Таким же образом можно вычислить динамические характеристики и головной части, если представить ее состоящей из нескольких усеченных конусов. Однако в этом нет необходимости. Ее можно рассчитывать как один участок.

7.8. СПОСОБ В. М. ТРОФИМОВА ДЛЯ ГОЛОВНОЙ ЧАСТИ

Если головная часть пули образована вращением дуги окружности радиуса R, центр которой находится в плоскости основания ($\xi=0$), то радиус головной части определяется по соотношению сторон прямоугольного треугольника (рис. 73, *а*)

$$z^2 + (b + R_z)^2 = R^2,$$

откуда

$$R_z = \sqrt{R^2 - z^2} - b = \sqrt{R^2 - z^2} - \sqrt{R^2 - h^2}. \qquad (7.8.1)$$

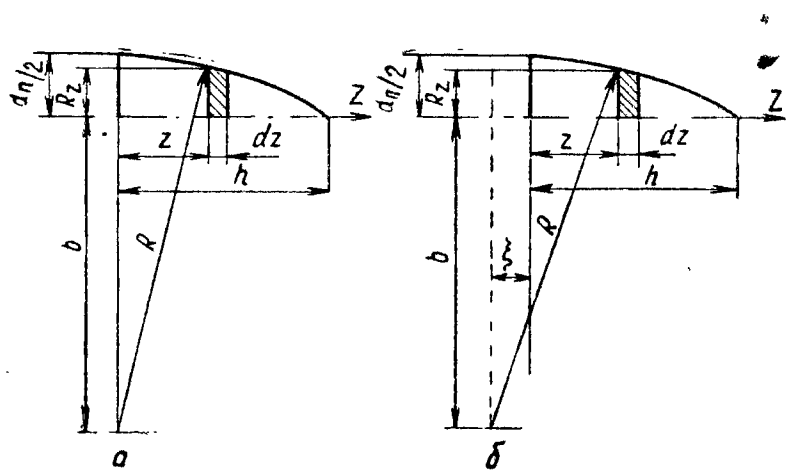


Рис. 73. Очертания головной части пули:
а — $\xi = 0$; *б* — $\xi \neq 0$

Подставив выражение для R_z в общие выражения для динамических характеристик и произведя интегрирование, получим такие же выражения, как и в случае усеченного конуса:

$$v_i = \alpha' R_i^2 h_i; \quad z_i = \beta' h_i,$$

$$A_i = \mu' v_i R_i^2; \quad B_i = \frac{1}{2} A_i + \nu' v_i h_i^2 + v_i l_i^2.$$

Значения коэффициентов α', β', μ', ν' определяются по таблицам для оживальной части пули (см. приложение 1, табл. 10) с входной величиной $\rho' = 2\frac{h}{d_0}$.

Если оживальная часть образована вращением дуги окружности, центр которой смещен от плоскости основания на величину ξ (см. рис. 73, *б*), то радиус оживальной части определяется выражением

$$R_z = \sqrt{R^2 - (z+\xi)^2} - b = \sqrt{R^2 - (z+\xi)^2} - \sqrt{R^2 - (h+\xi)^2}\ .$$

Подставляя это выражение в общие выражения для динамических характеристик, можно получить расчетные формулы, в которые войдет величина смещения ξ наряду с величинами h и R. Такие формулы даются В. М. Трофимовым, однако они громоздки и неудобны в практике расчетов.

Для вычисления динамических характеристик головной части пули при $\xi>0$ Н. Г. Меньшиковым предложены поправочные коэффициенты k_1, k_2, k_3, k_4 к формулам, рассчитанным для $\xi=0$:

$$v_i = k_1 \alpha' R_i^2 h_i; \quad z_i = k_2 \beta' h_i;$$

$$A_i = k_3 \mu' v_i R_i^2; \quad B_i = k_4 \left(\frac{1}{2} A_i + \nu' v_i h_i^2\right) + v_i l_i^2.$$

Значения поправочных коэффициентов, представляющих собой отношения соответствующих динамических характеристик при $\xi=0$ и при $\xi>0$, приводятся в приложении 1, табл. 11. Входными величинами в таблицах являются ξ/d и h/d.

7.9. ПОРЯДОК ВЫЧИСЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Приводим объем и примерный порядок вычислений при расчете динамических характеристик.

1. Вычерчивается эскиз пули с простановкой размеров и намечаются характерные участки пули, подлежащие расчету, например, головная ведущая (цилиндрическая), хвостовая (коническая) части и т. п. Размер длины ведущей части проектируемой пули не проставляется, он устанавливается при расчете веса пули. В качестве примера на рис. 74 приведен эскиз бронебойно-зажигательно-трассирующей пули, выполненный для расчета динамических характеристик.

2. В соответствии с эскизом пули и намеченными участками составляется форма расчета, в которой для каждого участка пули отводится необходимое количество столбцов в зависимости от сложности пули. Например, для свинцово-оболочечной пули достаточно иметь два столбца на каждый участок: для характеристик, определяемых по наружному очертанию пули и по внутреннему очертанию оболочки (очертанию свинцового сердечника). Для пуль типа Б-30 или Б-32 потребуется по три столбца на участок: для наружного очертания, внутреннего очертания оболочки (наружного очертания рубашки) и внутреннего очертания рубашки (очертания сердечника).

В качестве примера в табл. 20 приводится форма для расчета динамических характеристик бронебойно-зажигательно-трассирующей пули.

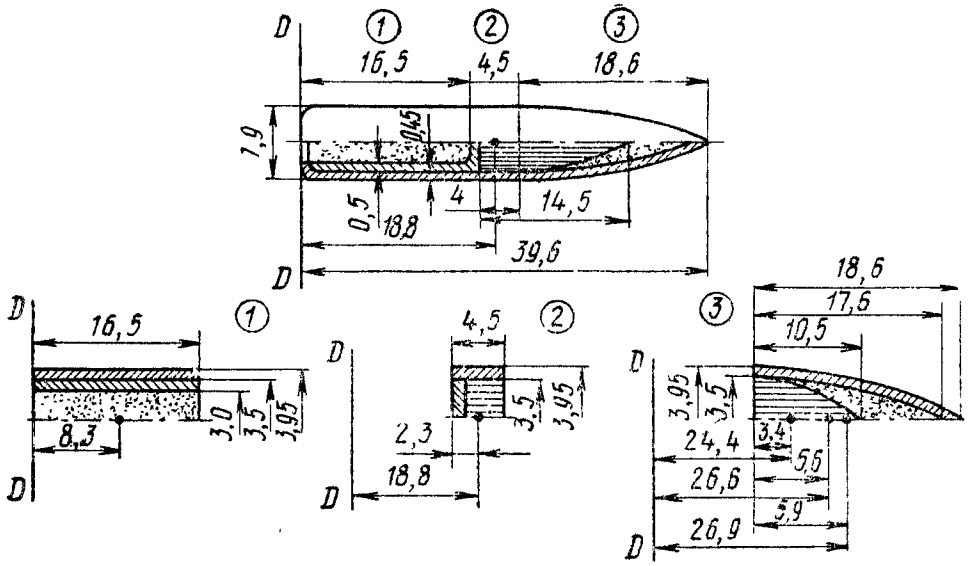


Рис. 74. Размеры бронебойно-зажигательно-трассирующей пули

3. Для каждого наружного и внутреннего очертания элемента на данном участке с эскиза берутся размеры (см. рис. 73) и определяются величины h, h^2, R^2, входные величины $\rho=2\frac{r}{d}$, $\rho'=2\frac{h}{d}$ и коэффициенты α, β, μ, ν, α', β', μ', ν', k_1, k_2, k_3, k_4. Все они вносятся в форму расчета.

4. По расчетным формулам вычисляется объем каждого элемента на каждом участке как разность объемов по наружному и внутреннему очертаниям:

$$v_i = v_{ni} - v_{bi},$$

за исключением ведущего (цилиндрического) участка, длина которого пока не известна.

5. Теперь можно определить вес каждого участка пули (головной части, хвостовой части) как сумму произведений объемов элементов на данном участке на соответствующие величины удельного веса материала элементов:

$$q_i = v_{i1}\gamma_1 + v_{i2}\gamma_2 + \dots .$$

6. Далее необходимо определить длину ведущей части пули H, соответствующую заданному весу пули. Отняв от заданного веса

Таблица 20

Форма для расчета динамических характеристик бронебойно-зажигательно-трассирующей пули

Параметр	Хвостовая часть (1)			Средняя часть (2)		Параметр	Головная часть (3)		
	Наружное очертание	1-е внутреннее очертание	2-е внутреннее очертание	Наружное очертание	Внутреннее очертание		Наружное очертание	1-е наружное очертание	2-е наружное очертание
Исходные данные									
R, см	0,395	0,35	0,30	0,395	0,35	R, см	0,395	0,35	0,35
h, см	1,65	1,65	1,65	0,45	0,45	h	1,86	1,76	1,05
ρ	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	ρ'	4,70	5,03	3,00
α	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	α'	1,70	1,69	1,73
β	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	β'	0,316	0,315	0,320
μ	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	μ'	0,394	0,394	0,396
γ	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	γ'	0,046	0,046	0,046
R^2, см^2	0,156	0,123	0,090	0,156	0,123	R^2, см^2	0,156	0,123	0,123
h^2, см^2	2,72	2,72	2,72	0,202	0,202	h^2, см^2	3,46	3,10	1,10
l', см	0,83	0,83	0,83	1,88	1,88	l', см	2,69	2,66	2,44
l, см	0,85	0,85	0,85	0,20	0,20	l, см	1,01	0,975	0,756
l^2, см^2	0,722	0,722	0,722	0,40	0,40	l^2, см^2	1,02	0,95	0,57
Расчетные данные									
$v=\alpha R^2 h$, см^3	0,808	0,637	0,466	0,220	0,174	v	0,493	0,394	0,224
$z=\beta h$, см	0,83	0,83	0,83	0,23	0,23	z	0,587	0,555	0,336
$M=vl$, см^4	0,670	0,528	0,387	0,414	0,327	M	1,320	0,967	0,547
$A=\mu v R^2$, см^5	0,063	0,039	0,021	0,017	0,010	A	0,0302	0,0176	0,0109
$B_1=\nu v h^2$, см^5	0,182	0,144	0,105	0,0037	0,0029	B_1	0,0785	0,0520	0,0113
$B_2=vl$, см^5	0,583	0,460	0,336	0,0088	0,0069	B_2	0,503	0,356	0,128
$B^1=B_1+B_2$, см^5	0,765	0,604	0,441	0,0125	0,0098	B^1	0,582	0,408	0,0139

вес головной части и вес хвостовой части, получим вес ведущей части Δq. Тогда

$$H = \frac{\Delta q}{s_1\gamma_1 + s_2\gamma_2 + \dots},$$

где s — площадь поперечного сечения отдельного элемента пули на цилиндрическом участке;

γ — удельный вес материала элемента.

7. При необходимости можно определить величины объема и веса отдельных элементов пули, т. е.

$$v_э = \Sigma v_i \quad \text{и} \quad q_э = v_э\gamma_э,$$

взяв необходимые величины из формулы расчета.

Такая необходимость возникает при разработке технологических процессов изготовления пули и ее элементов.

8. Для определения положения центра тяжести пули необходимо определить положение центра объема каждого элемента на каждом участке по наружному и внутреннему очертаниям относительно большего основания участка.

Полученные ранее величины объемов умножаем на соответствующие расстояния между центром объема участка элемента и дном пули $(l')_i$. Вычтя для каждого элемента величины моментов по внутреннему очертанию из величин моментов по наружному очертанию, получим моменты объема элементов для каждого участка M_i.

Для элемента пули в целом момент объема определится как сумма $M_э = \Sigma M_i$. Умножив полученные величины на соответствующие удельные веса материала, получим момент веса пули

$$M = \Sigma M_э\gamma_э$$

и определим положение центра тяжести пули относительно донного среза

$$z_c = \frac{M}{q}.$$

9. Аналогично поступают при вычислении полярного момента инерции: по формулам определяют величины A для каждого участка по наружному и внутреннему очертанию элемента. Их разность составляет момент инерции объема участка элемента A_i. Для элемента пули в целом

$$A_э = \Sigma A_i.$$

Момент инерции массы пули определяется как сумма моментов инерции элементов

$$J_A = \Sigma A_э \frac{\gamma_э}{g}.$$

10. Аналогичным образом определяется экваториальный момент инерции с той лишь разницей, что сначала вычисляется величина

$$B' = B - \frac{1}{2} A = \nu v h^2 + v l^2,$$

где l — расстояние между центрами тяжести участка элемента и пули.

Определив для каждого участка элемента эту величину (неполный момент инерции) по наружному и внутреннему очертаниям и вычтя одну из другой, получим B_i'. Для элемента пули имеем $B_э' = \Sigma B_i'$. Экваториальный момент инерции пули определяется так:

$$J_B = \Sigma B_э' \frac{\gamma_э}{g} + \frac{1}{2} J_A.$$

Наряду со способом В. М. Трофимова существуют так называемые численные способы расчета динамических характеристик пуль и снарядов, основанные на применении приближенных формул, по которым вычисляются квадратуры (формулы трапеций, формулы парабол и т. п.).

7.10. ЧИСЛЕННЫЕ СПОСОБЫ РАСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЛЬ (СНАРЯДОВ)

При расчете динамических характеристик численными способами пулю вычерчивают по возможности точно в увеличенном масштабе и разбивают каждый элемент сечениями на несколько одинаковых по длине участков. Для каждого сечения снимают с чертежа размеры элементов, по которым и производят определение динамических характеристик.

Формула трапеций имеет вид

$$\int_{x_0}^{x_n} y dx = \frac{x_n - x_0}{n} \left(\frac{y_0}{2} + y_1 + y_2 + \ldots + y_{n-1} + \frac{y_n}{2} \right),$$

где $\frac{x_n - x_0}{n} = h$ — расстояние между сечениями (участок);

n — число участков на интервале интегрирования;

y_i — значения функции в i-м сечении.

Если какой-либо элемент пули разделить сечениями на участки, то объемы элемента по наружной и внутренней поверхностям (очертаниям) определятся так:

$$v_н = \int_0^l \pi R_z^2 dz = \pi h \left(\frac{R_0^2}{2} + R_1^2 + R_2^2 + \ldots + R_{n-1}^2 + \frac{R_n^2}{2} \right);$$

$$v_в = \int_0^l \pi r_z^2 dz = \pi h \left(\frac{r_0^2}{2} + r_1^2 + r_2^2 + \ldots + r_{n-1}^2 + \frac{r_n^2}{2} \right),$$

где R, r — наружный и внутренний радиусы;

l — длина элемента пули;

$$h = \frac{l}{n}.$$

Объем элемента пули определится как разность объемов по наружному и внутреннему очертаниям $v_э = v_н - v_в$, вес элемента пули $q = v_э \gamma_э$, вес пули $q = \Sigma q_э$.

Положение центра тяжести пули относительно донного среза имеет выражение

$$z_c = \frac{\Sigma M_э \gamma_э}{q},$$

где $M_э = \int_0^l \pi R_z^2 z dz$ — момент объема элемента.

Формула трапеций для момента объема элемента должна быть записана в виде

$$M_н = \pi h^2 \left[\frac{0 k_0^2}{2} + 1 R_1^2 + 2 R_2^2 + \ldots + (n-1) R_{n-1}^2 + \frac{n R_n^2}{2} \right];$$

$$M_в = \pi h^2 \left[\frac{0 r_0^2}{2} + 1 r_1^2 + 2 r_2^2 + \ldots + (n-1) r_{n-2}^1 + \frac{n r_n^2}{2} \right].$$

В итоге

$$M_э = M_н - M_в.$$

Аналогичным образом можно рассчитать и другие динамические характеристики пули. При расчете полезно пользоваться заранее заготовленным бланком, форма которого может быть выбрана по усмотрению расчетчика в зависимости от конструкции рассчитываемой пули. Точность расчета динамических характеристик по формуле трапеций зависит от числа принятых участков (длины участка). Чем короче участок, тем точнее расчет.

При той же длине участка более точные результаты расчета получаются при использовании *формулы парабол*, которая имеет вид

$$\int_{x_0}^{x_n} y dx = \frac{x_n - x_0}{3n} (y_0 + 4y_1 + 2y_2 + \ldots + 2y_{n-2} + 4y_{n-1} + y_n).$$

Расчет динамических характеристик по этой формуле в принципе ничем не отличается от расчета по формуле трапеций, некоторая разница имеется лишь в технике вычислений. Число участков n при расчете по формуле парабол должно быть четным, поскольку подынтегральная функция заменяется параболой на каждой паре участков.

В практике расчетов динамических характеристик численными способами обычно каждый элемент пули приходится самостоятельно делить на свое число участков. Это делает вычисления громоздкими. Опыт показывает, что разобранный ранее способ В. М. Трофимова является универсальным, им обычно и пользуются на практике.

7.11. ОПЫТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ ПУЛЬ

При исследовании устойчивости пуль меткости стрельбы и рассеивания возникает необходимость определения динамических характеристик пуль (снарядов) экспериментальными методами. Линейные и весовые характеристики пуль (форма наружного очертания, отдельные линейные размеры, вес) определяются обычными способами с применением обычных универсальных инструментов и приспособлений. Положение центра тяжести и моменты инерции определяются специальными способами.

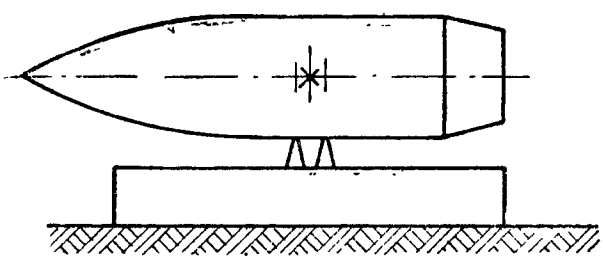


Рис. 75. Определение положения центра тяжести пули

Простейшим способом определения положения центра тяжести является способ уравновешивания пули (снаряда) на двух лезвиях, достаточно близко расположенных одно от другого (рис. 75). Точность этого способа определяется расстоянием между лезвиями. Обычно принимается, что центр тяжести расположен посередине между лезвиями (рисками от лезвий).

Схема одного из существующих приборов для определения положения центра тяжести пуль показана на рис. 76. На предварительно уравновешенное при помощи регулировочного груза *1* коромысло прибора с одного конца помещается груз P, а с другого — пуля веса q. Пуля перемещается микрометрическим винтом на величину c до положения равновесия коромысла.

Из уравнения равновесия коромысла

$$Pa = q(b - c - z_c)$$

определяется расстояние от донного среза пули до ее центра тяжести

$$z_c = b - c - \frac{P}{q}a.$$

На расстоянии z_c от донного среза пули наносится поперечная риска, которая совмещается с осью вращения (с риской на детали крепления) при определении экваториального момента инерции.

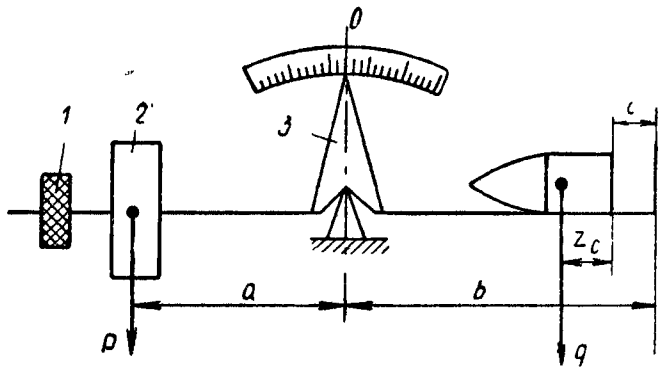


Рис. 76. Определение положения центра тяжести пули на специальном приборе:
1 — регулировочный груз; *2* — уравновешивающий груз; *3* — коромысло; *4* — пуля

Для нанесения риски обычно используется приспособленный штангенциркуль.

7.12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ НА ТРЕХНИТОЧНОМ ПОДВЕСЕ

Трехниточный* (трифилярный) подвес получил широкое применение при определении моментов инерции артиллерийских снарядов и пуль. Он состоит из подвижного диска с деталями крепления пули (снаряда) и металлических или холщовых (капроновых, шелковых) нитей, точки крепления которых на подвижном диске и неподвижном основании расположены в вершинах равностороннего треугольника (рис. 77).

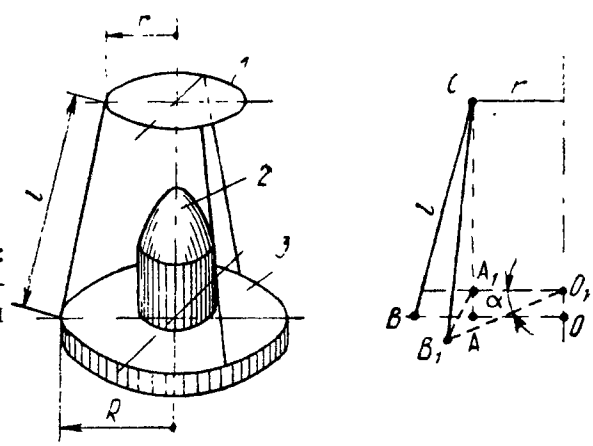


Рис. 77. Схема трехниточного подвеса:
1 — верхний диск; *2* — пуля; *3* — нижний диск с деталями крепления пули

Если подвижный диск с расположенной на нем пулей повернуть на небольшой угол около вертикальной оси, то он поднимется на некоторую величину за счет наклона нитей. Предоставленный самому себе диск будет совершать колебания вокруг верти-

* Подвес может быть также двухниточным.

кальной оси, период которых зависит от веса и момента инерции подвешенной системы.

Потенциальная энергия положения центра тяжести подвешенной системы будет периодически переходить в кинетическую энергию вращательного движения, что можно записать так:

$$Q \cdot OO_1 = J \frac{\omega_{max}^2}{2}, \qquad (7.12.1)$$

где Q — вес подвешенной системы;

J — момент инерции системы;

ω — угловая скорость поворота диска.

Согласно рис. 77,

$$OO_1 = CA - CA_1 = \frac{CA^2 - CA_1^2}{CA + CA_1}.$$

Учитывая, что

$$CA^2 = l^2 - (R - r)^2 = l^2 - R^2 + 2Rr - r^2$$

и

$$CA_1^2 = l^2 - A_1B_1^2 = l^2 - R^2 - 2Rr\cos\alpha - r^2,$$

а также учитывая небольшой наклон нитей, что позволяет принять

$$CA = CA_1 = l,$$

получаем

$$OO_1 = \frac{2Rr - 2Rr\cos\alpha}{2l} = \frac{2Rr\,(1 - \cos\alpha)}{2l}$$

или

$$OO_1 = \frac{2Rr\,2\sin^2\frac{\alpha}{2}}{2l} \approx \frac{Rr\alpha^2}{2l}. \qquad (7.12.2)$$

В последнем равенстве вследствие малости угла α синус заменен углом. При малых значениях угла α его изменение следует гармоническому закону

$$\varphi = \alpha \sin\frac{2\pi}{T}t,$$

где T — период колебаний.

Угловая скорость поворота диска

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \alpha\frac{2\pi}{T}\cos\frac{2\pi}{T}t,$$

а ее максимальное значение, соответствующее моменту прохождения диском положения равновесия,

$$\omega_{max} = \alpha \frac{2\pi}{T} . \quad (7.12.3)$$

Подставляя выражения (7.12.2) и (7.12.3) в выражение (7.12.1), получаем

$$J = \frac{T^2}{4\pi^2} \cdot \frac{QRr}{l} . \quad (7.12.4)$$

При $r = R$ имеем

$$J = \frac{T^2}{4\pi^2} \cdot \frac{QR^2}{l} . \quad (7.12.5)$$

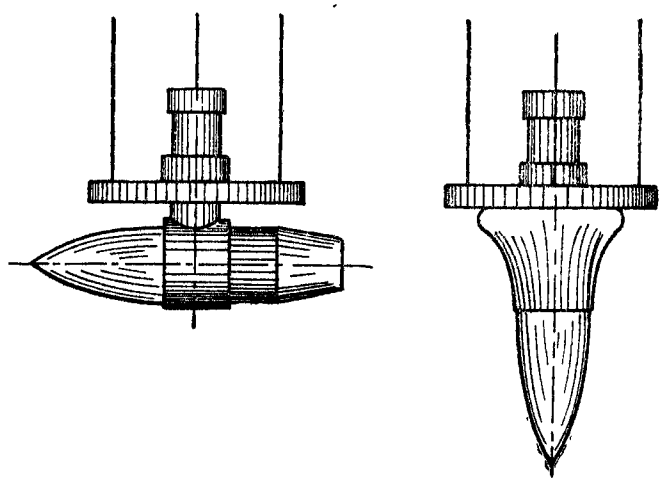


Рис. 78. Схема закрепления пуль на трехниточном подвесе

Пользуясь выражениями (7.12.4) и (7.12.5), можно рассчитать полярный и экваториальный моменты инерции по опытным данным. Опыты проводятся с пулей, закрепленной соответствующим определяемой характеристике способом (рис. 78).

Предварительно опытным путем определяют вес диска $Q_д$ с деталями крепления пули и момент инерции диска с деталями крепления

$$J_д = \frac{T_д^2}{4\pi^2} \cdot \frac{Q_д R^2}{l} ,$$

где $T_д$ — период колебаний диска с деталями крепления.

Тогда момент инерции пули определится по формуле

$$J_{A\,(B)} = \frac{T^2}{4\pi^2} \cdot \frac{QR^2}{l} - J_д ,$$

где $Q = Q_д + q$ — вес подвешенной системы с пулей;
T — опытная величина периода колебаний.

7.13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ НА ПРУЖИННОМ ПРИБОРЕ

Для получения колебательного движения иногда используется сила упругости пружины (рис. 79). Работа силы упругости пружины переходит в кинетическую энергию вращательного движения, т. е.

$$FS = J \frac{\omega_{max}^2}{2} , \quad (7.13.1)$$

где $F = \frac{\eta s}{2}$ — средняя сила пружины, соответствующая углу поворота рамки α;

η — коэффициент жесткости пружины;

$s = R\alpha$ — дуга, описываемая внешней точкой крепления пружины.

В результате имеем

$$Fs = \frac{\eta s^2}{2} = \frac{\eta R^2 \alpha^2}{2}. \qquad (7.13.2)$$

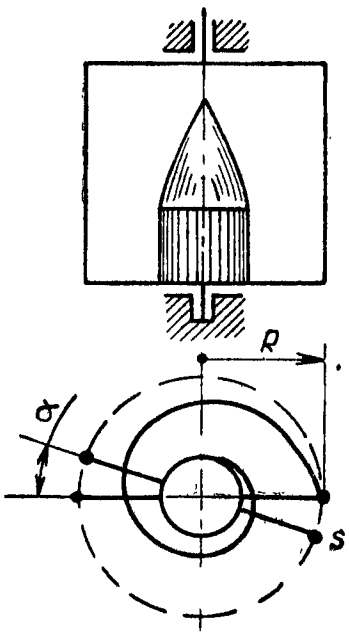


Рис. 79. Схема прибора с пружиной

Для максимальной угловой скорости имели выражение (7.12.3). Подставив его и выражение (7.13.2) в равенство (7.13.1), получим

$$J = \frac{T^2}{4\pi^2} \eta R^2,$$

или

$$J = kT^2,$$

где $k = \frac{\eta R^2}{4\pi^2}$ — постоянная прибора, определяемая опытным путем заблаговременно.

Для этого пользуются двумя эталонами с известными величинами моментов инерции $J_{э1}$ и $J_{э2}$. Одновременно определяется момент инерции $J_р$ рамки с деталями крепления, для чего прибор приводится в движение сначала с одним, затем с другим эталоном и составляются два равенства:

$$J_{э1} + J_р = kT_1^2 \quad \text{и} \quad J_{э2} + J_р = kT_2^2.$$

Вычитая одно равенство из другого, получаем

$$J_{э1} - J_{э2} = k(T_1^2 - T_2^2),$$

откуда

$$k = \frac{J_{э1} - J_{э2}}{T_1^2 - T_2^2}.$$

Имея значение постоянной k, можно определить момент инерции рамки с деталями крепления по одному из двух предыдущих равенств

$$J_р = kT_1^2 - J_{э1} = kT_2^2 - J_{э2}.$$

Момент инерции пули определяется по формуле

$$J_{A(B)} = kT^2 - J_р.$$

7.14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ НА ПРИБОРЕ С ПАДАЮЩИМ ГРУЗОМ

В данном случае измеряется опытным путем время падения груза, вращающего барабанчик с пулей (рис. 80). Оно зависит от момента инерции вращающейся системы.

Если пренебречь силами трения и сопротивления воздуха, то уравнение вращательного движения барабанчика с пулей запишется так:

$$J \frac{d^2\varphi}{dt^2} = rS, \qquad (7.14.1)$$

где J — момент инерции вращающейся системы;

S — сила натяжения нити;

r — радиус барабанчика;

φ — угол поворота барабанчика.

Для исключения неизвестной силы S воспользуемся уравнением движения груза

$$\frac{P}{g} \frac{d^2z}{dt^2} = P - S, \qquad (7.14.2)$$

где z — текущая координата груза.

Считая нить нерастягиваемой, имеем

$$z = r\varphi$$

и

$$\frac{d^2z}{dt^2} = r\frac{d^2\varphi}{dt^2}. \qquad (7.14.3)$$

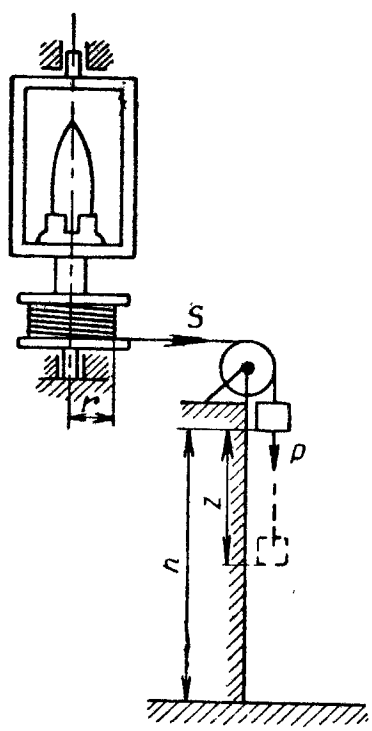


Рис. 80. Схема прибора с падающим грузом

Решая систему уравнений (7.14.1), (7.14.2), (7.14.3) и используя граничные условия $t=0$, $z=0$, $\frac{dz}{dt}=0$ и $t=T$, $z=h$, получаем следующее выражение для момента инерции вращающейся системы:

$$J = \frac{P}{g} r^2 \left(\frac{gT^2}{2h} - 1 \right),$$

где T — время падения груза с высоты h.

Для определения момента инерции пули из полученного момента инерции системы надо вычесть момент инерции барабанчика с деталями крепления, рассчитанный по формуле

$$J_б = \frac{P}{g} r^2 \left(\frac{gT_б^2}{2h} - 1 \right).$$

Тогда рабочая формула примет вид

$$J_{A\,(B)} = \frac{P}{2h} r^2 (T^2 - T_б^2).$$

Для определения экваториального момента инерции J_B пулю следует закрепить перпендикулярно оси вращения так, чтобы центр тяжести ее, обозначенный поперечной риской, находился на оси вращения.

7.15. ЭМПИРИЧЕСКИЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЛЬ

Рассмотренная ранее методика расчета динамических характеристик пуль несколько громоздка. Поэтому является заманчивой идея разработки более простых методик расчета динамических характеристик пуль на основе эмпирических зависимостей. М. С. Шерешевский предложил следующие эмпирические зависимости*:

для веса пули

$$q = k_q d_п^3 \alpha (1 - 0{,}5\gamma); \qquad (7.15.1)$$

для положения центра тяжести пули относительно хвостовой части

$$z_c = k_z l_п \frac{1 - \gamma (1 - 0{,}375\gamma)}{2 - \gamma}; \qquad (7.15.2)$$

для полярного момента инерции пули

$$J_A = k_A d_п^5 \alpha (1 - 0{,}7\gamma); \qquad (7.15.3)$$

для экваториального момента инерции пули

$$J_B = k_B d_п^5 \alpha [0{,}125 + 0{,}147\alpha^2 - \gamma (0{,}0875 + 0{,}125\alpha^2 - 0{,}0375\beta^2)],$$

где $d_п$ — диаметр пули, см;

$l_п$ — длина пули, см;

h — длина головной части пули, см;

---

* Обозначения приняты в этой книге несколько иные, чем у М. С. Шерешевского.

$\alpha = \frac{l_п}{d_п}$; $\beta = \frac{h}{d_п}$; $\gamma = \frac{h}{l_п} = \frac{\beta}{\alpha}$ — коэффициенты;

k_g, k_z, k_A, k_B — коэффициенты, значения которых представлены в табл 21.

Таблица 21

Значения коэффициентов k_q, k_z, k_A, k_B

Пуля	k_q, гс/см³	k_z	k_A, гс·с²/см⁴	k_B, гс·с²/см⁴
Со свинцовым сердечником	7,9	1,08	0,00100	0,00345
Со стальным сердечником	6,8	1,08	0,00089	0,00330
Трассирующая	5,6	1,20	0,00077	0,00287
Бронебойно-зажигательная	6,0	1,02	0,00100	0,00258
Бронебойно-зажигательно-трассирующая	6,5	1,07	0,00100	0,00236

7.16. ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОПЕРЕННЫХ ПУЛЬ

Устойчивость оперенных снарядов исследуется на основе определения подъемных сил и центров давления корпуса снаряда и оперения. Для расчета координаты центра давления снаряда в целом используется теорема о статических моментах для системы сил, приложенных в центрах давления корпуса снаряда и оперения. Используются достаточно сложные зависимости.

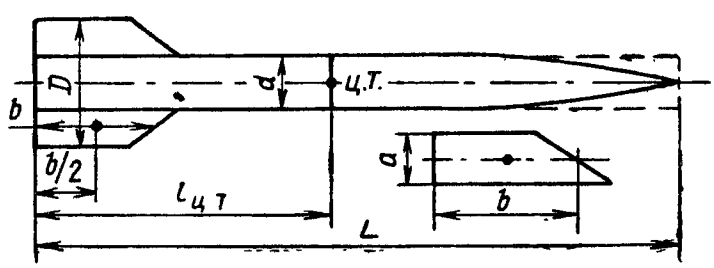


Рис. 81. Размеры оперенной пули

Применительно к оперенным (стреловидным) пулям допустим более простой прикидочный анализ устойчивости на основе сравнения стабилизирующей поверхности с несущей поверхностью пули (снаряда). Такой метод исследовал В. П. Степанов.

Если рассмотреть модель снаряда (пули) с крестовидным оперением в плане (рис. 81) и определить поверхность плана как несущую поверхность

$$S_{нес} = dL + (D - d)\,b,$$

а часть поверхности плана до положения центра тяжести как стабилизирующую поверхность

$$S_{ст} = dl_{ц\,т} + (D - d)\,b,$$

то можно определить коэффициент стабилизации

$$k = \frac{S_{ст}}{S_{нес}} = \frac{dl_{ц\,т} + (D - d)\,b}{dL + (D - d)\,b},$$

или

$$k = \frac{1 + \left(\frac{D}{d} - 1\right)\frac{b}{l_{ц\,т}}}{\frac{L}{l_{ц\,т}} + \left(\frac{D}{d} - 1\right)\frac{b}{l_{ц\,т}}}. \qquad (7.16.1)$$

Оптимальной стабилизации в большом диапазоне скорости полета соответствует коэффициент $k = 0{,}60 \div 0{,}65$. На этом основании устанавливаются размеры оперения стабилизатора.

Особенность формулы (7.16.1) состоит в том, что она не учитывает место расположения оперения по длине пули (снаряда) и влияние его на коэффициент стабилизации. Поэтому в общем случае следует сравнивать не поверхности, а моменты поверхностей относительно поперечной оси, проходящей через центр тяжести, и определять коэффициент стабилизации как

$$n = \frac{dl_{ц\,т}\frac{l_{ц\,т}}{2} + (D - d)\,b\left(l_{ц\,т} - \frac{b}{2}\right)}{d\,(L - l_{ц\,т})\frac{L - l_{ц\,т}}{2}},$$

или

$$n = \frac{1 + 2\left(\frac{D}{d} - 1\right)\frac{b}{l_{ц\,т}}\left(1 - \frac{1}{2}\,\frac{b}{l_{ц\,т}}\right)}{\left(\frac{L}{l_{ц\,т}} - 1\right)^2}. \qquad (7{,}16.2)$$

Коэффициент стабилизации в этом выражении больше единицы, превышение единицы и составляет собственно стабилизацию. По опытным данным значения коэффициента стабилизации могут приниматься порядка $n = 1{,}6 \div 1{,}7$.

Вес и положение центра тяжести оперенных пуль определяются обычными способами, приведенными в этой главе. Размах оперения при проектировании назначается порядка $D = 2{,}5d$. Тогда условная или действительная ширина пера будет

$$a = \frac{1}{2}(D - d) = \frac{1}{2}(2{,}5 - 1)\,d = 0{,}75d.$$

При заданном размахе оперения D, заданных значениях коэффициента стабилизации n и положения центра тяжести пули $l_{ц.т}$ по формуле (7.16.2) можно определить длину оперения b по средней линии.

Толщина пера делается как можно меньшей, чтобы снизить баллистический коэффициент пули.

7.17. ОПЫТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПУЛЬ

О фактическом состоянии устойчивости пули или снаряда можно судить по результатам стрельбы по картону. Опыт организуется следующим образом (рис. 82). На участке тира в его конце и начале устанавливаются блокирующие устройства для определения двух значений скорости v_1 и v_2. На пути движения пули между блокирующими устройствами устанавливаются щиты из прокаленного картона, подготавливаемого по особым инструкциям. При пробитии пули или снаряда в картоне остаются четкие пробоины (рис. 83), по расположению и размерам которых можно определить ряд параметров движения пули и, в частности, величину угла нутации, характеризующего степень устойчивости пули.

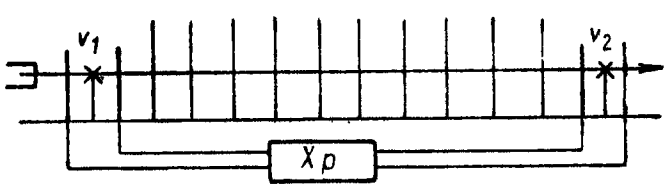


Рис. 82. Схема стрельбы по картонам

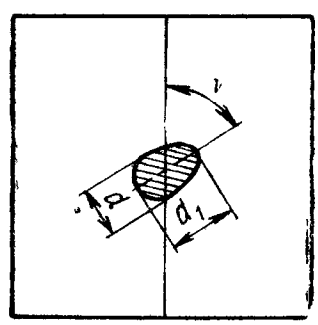


Рис. 83. Схема пробоины в картоне и ее размеры

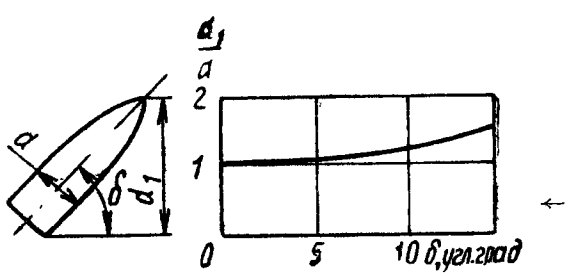


Рис. 84. Таражный график

При анализе для каждой пули делается предварительно таражный график (рис. 84) зависимости отношения осей пробоин d_1/d от угла нутации δ. Малая ось овала d практически постоянна и равна калибру, а большая ось d_1 зависит от угла нутации. Опытно определив отношение d_1/d, по таражному графику можно найти угол нутации и сделать заключение о степени устойчивости пули в соответствии с конкретно предъявляемыми требованиями.

Поворот большой оси пробоины на картоне относительно вертикальной оси щита означает угол прецессии пули ν (см. рис. 83),

определяемый особо. Сказанное об определении степени устойчивости пули при стрельбе по картонам в равной степени относится к оперенным пулям.

ПРИМЕРЫ

Пример 7.1. Определить угол наклона нарезов постоянной крутизны, если длина хода нарезов $\eta=32$ калибра.

Решение

По выражению (7.3.1)

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{3{,}14}{32} = 0{,}0982; \quad \alpha = \operatorname{arctg} 0{,}0982 = 5°37'.$$

Пример 7.2. Определить частоту вращения пули калибра 7,62 мм, если длина хода нарезов $\eta=32$ калибра, а дульная скорость $v_д=840$ м/с.

Решение

Частота вращения пули

$$\frac{v_д}{\eta d} = \frac{840}{32 \cdot 7{,}62 \cdot 10^{-3}} = 3450 \text{ об/с}.$$

Пример 7.3. Определить необходимую длину хода нарезов для пули калибра 7,62 мм весом 8,62 гс, если моменты инерции ее

$$J_A = 0{,}000632 \text{ гс}\cdot\text{см}\cdot\text{с}^2 \text{ и } J_B = 0{,}00781 \text{ гс}\cdot\text{см}\cdot\text{с}^2,$$

длина пули 39,6 мм, расстояние от дна до центра тяжести 16,8 мм и длина головной части 18,6 мм.

Решение

$$\mu = \frac{4gJ_A}{qd^2} = \frac{4{,}981 \cdot 0{,}000632}{8{,}62 \cdot 0{,}762^2} = 0{,}5.$$

По выражению (7.3.3) определяем

$$z = \frac{39{,}6 - 16{,}8 - 18{,}6 + 0{,}57 \cdot 18{,}6}{7{,}62} - 0{,}16 = 1{,}78.$$

Коэффициент веса пули

$$c_q = \frac{8{,}62}{0{,}762^3} = 19{,}5 \text{ гс/см}^3.$$

По табл. 19 для $v_0=840$ м/с находим $k_{M_т}=0{,}92\cdot10^{-3}$.

Аэродинамическая функция опрокидывающего момента

$$k_м = 0{,}92 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{39{,}6}{7{,}62 \cdot 4{,}5}} = 0{,}99 \cdot 10^{-3}.$$

Приняв запас прочности $a=0{,}85$, по выражению (7.3.2) имеем

$$\eta = 0{,}85\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{0{,}000632}{0{,}00781}\,\frac{0{,}5}{1{,}78}\,\frac{19{,}5}{0{,}99}} = 26{,}4 \text{ калибра.}$$

Пример 7.4. Определить необходимую длину хода нарезов для авиационной пушки, стреляющей по курсу самолета вперед на малой высоте, если снаряд имеет начальную скорость 1000 м/с, самолет имеет скорость $v_{см}=200$ м/с, а устойчивость снаряда при стрельбе на земле обеспечивается длиной хода нарезов $\eta=30$ калибров.

Решение

По выражению (7.4.2) находим

$$\eta_{см} = \frac{v_д}{v_д + v_{см}}\,\eta = \frac{1000}{1200}\,30 = 25 \text{ калибров.}$$

Пример 7.5. При стрельбе подкалиберным снарядом с отделяющимся поддоном для обеспечения устойчивого полета сердечника по выражению (7.3.2) длина хода нарезов в калибрах сердечника $\eta_с=33$ калибра. Определить длину хода нарезов в калибрах ствола, если диаметр сердечников в два раза меньше калибра ствола.

Решение

По выражению (7.4.4) определяем

$$\eta = \frac{1}{2}\,\eta_с = \frac{1}{2}\,33 = 16{,}5 \text{ калибра.}$$

Пример 7.6. Определить динамические характеристики пули, размеры которой приведены на рис. 74, при условии, что удельный вес стали 7,85 гс/см^3, а трассирующего и зажигательного составов 2,4 гс/см^3.

Решение

Воспользуемся формой расчета (см. табл. 20) и внесем в нее взятые из чертежа (см. рис. 74) величины радиуса R и длины участка h. Подсчитаем величины $\rho=\frac{r}{R}$, $\rho'=\frac{h}{R}$, R^2, h^2 и также внесем их в форму расчета.

По величинам ρ и ρ' в таблицах коэффициентов (см. приложение 1, табл. 9—11) находим значения α, β, μ, ν, α', β', μ', ν' и вписываем их в форму расчета.

По формулам, приведенным в форме расчета, определяем значения объема V, положения центра тяжести участка по каждому очертанию z и полярного момента инерции объема A.

По полученным значениям объема V определяем объем каждого элемента пули (оболочки, стаканчика, трассирующего состава, сердечника, зажигательного состава):

$$V_{об} = 0{,}808 - 0{,}637 + 0{,}220 - 0{,}174 + 0{,}493 - 0{,}364 = 0{,}346 \text{ см}^3;$$

$$V_{ст} = 0{,}637 - 0{,}466 = 0{,}171 \text{ см}^3;$$

$$V_{тр} = 0{,}466 \text{ см}^3;$$

$$V_{с} = 0{,}174 + 0{,}224 = 0{,}398 \text{ см}^3;$$

$$V_{з} = 0{,}364 - 0{,}224 = 0{,}140 \text{ см}^3.$$

Определяем вес пули, суммируя произведения объемов элементов на значения удельного веса материала:

$$q = (V_{об} + V_{ст} + V_{с})\,7{,}85 + (V_{тр} + V_{з})\,2{,}4 =$$

$$= (0{,}346 + 0{,}171 + 0{,}398)\,7{,}85 + (0{,}466 + 0{,}140)\,2{,}4 = 8{,}61 \text{ гс}.$$

По полученным значениям положения центра тяжести z для каждого очертания на каждом участке, пользуясь чертежом (см. рис. 74), находим значения расстояния l' между донным срезом пули и центром тяжести участка по каждому очертанию (указаны на рисунке).

По формуле $M = Vl'$ определяем моменты объема каждого очертания на каждом участке относительно плоскости донного среза пули. Затем определяем значения моментов объема элементов пули относительно плоскости донного среза пули:

$$M_{об} = 0{,}670 - 0{,}528 + 0{,}414 - 0{,}327 + 1{,}320 - 0{,}967 = 0{,}582 \text{ см}^4;$$

$$M_{ст} = 0{,}528 - 0{,}387 = 0{,}141 \text{ см}^4;$$

$$M_{тр} = 0{,}387 \text{ см}^4;$$

$$M_{с} = 0{,}327 + 0{,}547 = 0{,}874 \text{ см}^4;$$

$$M_{з} = 0{,}967 - 0{,}547 = 0{,}420 \text{ см}^4.$$

Определяем положение центра тяжести пули относительно донного среза, суммируя произведения моментов объемов элементов на значения удельного веса материала и деля на полученный вес пули:

$$z_{с} = \frac{1}{q}\left[(M_{об} + M_{ст} + M_{с})\,7{,}85 + (M_{тр} + M_{з})\,2{,}4\right] =$$

$$= \frac{1}{8{,}61}\left[(0{,}582 + 0{,}141 + 0{,}874)\,7{,}85 + (0{,}387 + 0{,}420)\,2{,}4\right] = 1{,}68 \text{ см}.$$

По значениям A (см. табл. 20) определяем значения полярного момента инерции объема каждого элемента пули:

$$A_{об} = 0{,}063 - 0{,}039 + 0{,}017 - 0{,}010 + 0{,}0302 - 0{,}0176 = 0{,}0436 \text{ см}^5;$$

$$A_{ст} = 0{,}039 - 0{,}021 = 0{,}018 \text{ см}^5;$$

$$A_{тр} = 0{,}021 \text{ см}^5;$$

$$A_{с} = 0{,}010 + 0{,}0109 = 0{,}0209 \text{ см}^5;$$

$$A_{з} = 0{,}0176 - 0{,}0109 = 0{,}0067 \text{ см}^5.$$

Определяем полярный момент инерции массы пули как сумму произведений полярных моментов объемов элементов на удельный вес, поделенную на ускорение силы тяжести:

$$J_A = (A_{об} + A_{ст} + A_{с})\frac{7{,}85}{g} + (A_{тр} + A_{з})\frac{2{,}4}{g} =$$

$$= (0{,}0436 + 0{,}0180 + 0{,}0209)\frac{7{,}85}{981} + (0{,}0210 + 0{,}0067)\frac{2{,}4}{981} =$$

$$= 0{,}000730 \text{ гс} \cdot \text{см} \cdot \text{с}^2.$$

Отложив на чертеже (см. рис. 74) расстояние от донного среза пули до ее центра тяжести (1,68 см), находим расстояния между центром тяжести пули и центрами объемов участков по каждому очертанию и заносим их в форму расчета (см. табл. 20).

Произведя указанные в табл. 20 действия, получим значения неполного экваториального момента инерции B' относительно поперечной оси, проходящей через центр тяжести пули.

Определим значения неполного экваториального момента инерции объемов элементов пули:

$$B'_{об} = 0{,}765 - 0{,}604 + 0{,}0125 - 0{,}0098 + 0{,}582 - 0{,}408 = 0{,}338 \text{ см}^5;$$

$$B'_{ст} = 0{,}604 - 0{,}441 = 0{,}163 \text{ см}^5;$$

$$B'_{тр} = 0{,}441 \text{ см}^5;$$

$$B'_{с} = 0{,}0098 + 0{,}139 = 0{,}149 \text{ см}^5;$$

$$B'_{з} = 0{,}408 - 0{,}139 = 0{,}269 \text{ см}^5.$$

Определим экваториальный момент инерции пули как сумму произведений полученных моментов на плотность с добавкой половины полярного момента инерции:

$$J_B = \frac{1}{2} J_A + (B'_{об} + B'_{ст} + B_с') \frac{7,85}{g} + (B'_{тр} + B_з') \frac{2,4}{g} =$$

$$= \frac{1}{2} 0,000730 + (0,338 + 0,163 + 0,149) \frac{7,85}{981} + (0,441 + 0,269) \frac{2,4}{981} =$$

$$= 0,00730 \text{ гс} \cdot \text{см} \cdot \text{с}^2.$$

Отношение моментов инерции $J_B : J_A = 10$.

Пример 7.7. Определить динамические характеристики 12,7-мм пули Б-32 по эмпирическим зависимостям при следующих данных: $d_п = 13,01$ мм; $l_п = 64,6$ мм; $h = 33,3$ мм.

Решение

Определяем значения коэффициентов:

$$\alpha = \frac{l_п}{d_п} = 4,97; \qquad \beta = \frac{h}{d_п} = 2,56; \qquad \gamma = \frac{h}{l_п} = 0,515.$$

Выписываем из табл. 21 коэффициенты:

$$k_q = 6,0; \quad k_z = 1,02; \quad k_A = 0,001; \quad k_B = 0,00258.$$

По выражению (7.15.1) находим

$$q = 6,0 \cdot 1,301^3 \cdot 4,97 (1 - 0,5 \cdot 0,515) = 48,6 \text{ гс}.$$

Определяем положение центра тяжести пули по выражению (7.15.2)

$$z_с = 1,02 \cdot 6,46 \frac{1 - 0,515 (1 - 0,375 \cdot 0,515)}{2 - 0,515} = 2,59 \text{ см}.$$

По выражениям (7.15.3) и (7.15.4) определяем полярный и экваториальный моменты инерции пули:

$$J_A = 0,001 \cdot 1,301^5 \cdot 4,97 (1 - 0,7 \cdot 0,515) = 0,0118 \text{ гс} \cdot \text{см} \cdot \text{с}^2;$$

$$J_B = 0,00258 \cdot 1,301^5 \cdot 4,97 [0,125 + 0,147 \cdot 4,97^2 -$$

$$- 0,515 (0,0875 + 0,125 \cdot 4,97^2 - 0,0375 \cdot 2,56^2)] = 0,1065 \text{ гс} \cdot \text{см} \cdot \text{с}^2.$$

Пример 7.8. Определить коэффициент стабилизации оперенной пули при следующих ее данных: $d = 3$ мм; $L = 53$ мм; $D = 7,62$ мм; $l'_{цт} = 49,5\%$; длина оперения по основанию 10,35 мм; наклон пера к образующей 20°.

Решение

Находим

$$l'_{цт} = \frac{53 \cdot 49,5}{100} = 26,2 \text{ мм}.$$

Средняя длина пера

$$b = 10{,}35 - \Delta b; \quad \Delta b = \frac{D-d}{4}\,\frac{1}{\operatorname{tg} 20^\circ} = \frac{4{,}72}{4}\,\frac{1}{0{,}364} = 3{,}24 \text{ мм};$$

$$b = 10{,}35 - 3{,}24 = 7{,}11 \text{ мм}.$$

По выражению (7.16.1) находим значение коэффициента стабилизации

$$k = \frac{1 + \left(\frac{7{,}62}{3} - 1\right)\frac{7{,}11}{26{,}2}}{\frac{53}{26{,}2} + \left(\frac{7{,}62}{3} - 1\right)\frac{7{,}11}{26{,}2}} = 0{,}59,$$

которое близко оптимальному значению k по В. П. Степанову.

По выражению (7.16.2), учитывая

$$\frac{D}{d} - 1 = \frac{7{,}62}{3} - 1 = 1{,}54; \quad \frac{b}{l_{\text{ц т}}} = \frac{7{,}11}{26{,}2} = 0{,}272;$$

$$1 - \frac{1}{2}\,\frac{b}{l_{\text{ц т}}} = 1 - 0{,}136 = 0{,}874; \quad \frac{L}{l_{\text{ц т}}} - 1 = \frac{53}{26{,}2} - 1 = 1{,}02,$$

имеем

$$n = \frac{1 + 2 \cdot 1{,}54 \cdot 0{,}272 \cdot 0{,}874}{1{,}02^2} = 1{,}67.$$

Глава 8

ЭЛЕМЕНТЫ РАСЧЕТА ПУЛЬ НА ПРОЧНОСТЬ

8.1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ПРОЧНОСТИ ПУЛЬНЫХ ОБОЛОЧЕК

При стрельбе из стрелкового оружия встречаются ненормальные явления, связанные, главным образом, с нарушением прочности оболочки (специфического элемента пули). Причины и характер нарушения прочности оболочки могут быть различными. Рассмотрим некоторые из них.

Иногда наблюдаются *срывы пуль с нарезов,* в результате чего они не получают достаточной для устойчивого полета угловой скорости вращения, кувыркаются на траектории, имеют большое рассеивание и обычно не долетают до цели. Это получается вследствие чрезмерно большого давления боевых граней нарезов на оболочку из-за неправильного сопряжения пули с поверхностью канала ствола в результате неправильного назначения размеров и допусков на размеры, износа полей нарезов или расширения канала при сильном нагреве ствола.

Продольный разрыв оболочки или местное увеличение ее диаметра, нарушающее правильный полет пули в воздухе, вызывается действием центробежных сил инерции оболочки и свинцовой рубашки при недостаточной толщине оболочки или низких характеристик прочности ее материала.

Встречается также *поперечный разрыв оболочки,* обычно в месте сопряжения головной части пули с ее ведущей частью. Оболочка с ведущей и хвостовой частей сердечника пули снимается и вылетает из ствола отдельно. Это явление называется демонтажом пули. Сердечник с головной частью оболочки обычно не получает нужной скорости вращательного движения и не обладает нормальным устойчивым полетом. Это является результатом действия больших сил трения оболочки пули о поверхность канала ствола к моменту развития максимального давления газов, недостаточной толщины и прочности материала оболочки.

Местное увеличение поперечных размеров оболочки возникает из-за неплотной запрессовки внутренних элементов пули в процессе производства. В имеющиеся полости протекают под большим давлением пороховые газы. При движении пули по каналу ствола

действие этих газов уравновешивается реакцией поверхности канала ствола, а при вылете пули из канала оно вызывает раздутие оболочки. Этому способствует действие центробежных сил. Нормальный устойчивый полет пули нарушается.

В отдельных случаях при снаряжении пули жидкими или другими податливыми видами снаряжения могут возникнуть аналогичные ненормальные явления от действия продольных сил инерции.

Особо важное значение имеют обеспечение безопасности и взводимости ударных устройств специальных пуль и обеспечение необходимой прочности пуль при взаимодействии с различными преградами.

8.2. ДАВЛЕНИЕ ОБОЛОЧКИ НА БОЕВУЮ ГРАНЬ НАРЕЗА

Взаимодействие ведущего устройства пули с боевой гранью нареза можно представить схемой сил при развертке поверхности канала ствола на плоскости (рис. 85).

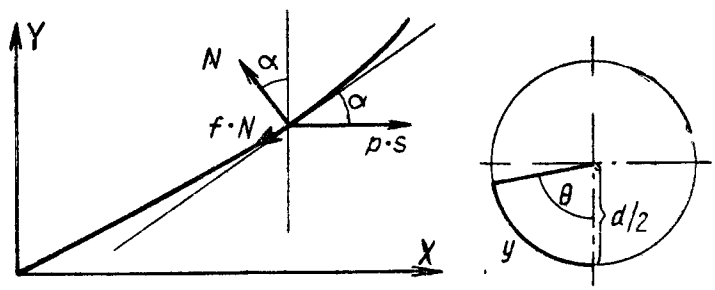


Рис. 85. Схема сил, действующих на пулю при движении по каналу ствола

Суммарную силу нормального давления боевых граней нарезов на ведущее устройство N определим из системы двух уравнений: уравнения поступательного движения

$$\varphi m \frac{dv}{dt} = ps \tag{8.2.1}$$

и уравнения вращательного движения

$$J_A \frac{d\omega}{dt} = N \frac{d}{2}(\cos\alpha - f \sin\alpha), \tag{8.2.2}$$

где m — масса пули;

φ — коэффициент фиктивности массы пули;

p — давление пороховых газов у дна пули;

s — площадь поперечного сечения канала ствола;

f — коэффициент трения;

α — угол наклона нарезов в данной точке.

Угловая скорость пули следующим образом связана с поступательной скоростью

$$\omega = \frac{2}{d}\frac{dy}{dt} = \frac{2}{d}\frac{dy}{dx}\frac{dx}{dt} = \frac{2}{d}\operatorname{tg}\alpha\, v.$$

Считая в общем случае α переменным, получаем

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{2}{d}\left(\frac{dv}{dt}\operatorname{tg}\alpha + v\frac{d\operatorname{tg}\alpha}{dx}\frac{dx}{dt}\right) = \frac{2}{d}\left(\operatorname{tg}\alpha\frac{dv}{dt} + v^2\frac{d\operatorname{tg}\alpha}{dx}\right). \quad (8.2.3)$$

Для нарезов прогрессивной крутизны (см. рис. 69), которая соответствует закону

$$y = kx^2,$$

имеем

$$\frac{d\operatorname{tg}\alpha}{dx} = \frac{d^2y}{dx^2} = 2k = k_\alpha = \text{const},$$

и выражение (8.2.3) принимает вид

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{2}{d}\left(\operatorname{tg}\alpha\frac{dv}{dt} + k_\alpha v^2\right).$$

Подставив сюда ускорения из выражений (8.2.1) и (8.2.2), а также учитывая, что $J_A = m\rho^2$, где ρ — радиус инерции, а $\left(\frac{2\rho}{d}\right)^2 = \mu$, получим для нарезов прогрессивной крутизны

$$N = \mu\frac{ps\operatorname{tg}\alpha + \varphi k_\alpha m v^2}{\varphi(\cos\alpha - f\sin\alpha)}.$$

Для нарезов постоянной крутизны $k_\alpha = 0$ и

$$N = \mu\frac{ps\operatorname{tg}\alpha}{\varphi(\cos\alpha - f\sin\alpha)}.$$

Если принять допущение, что $\varphi(\cos\alpha - f\sin\alpha) = 1$, получим более простые выражения:

$$N = \mu(ps\operatorname{tg}\alpha + \varphi k_\alpha m v^2); \quad (8.2.4)$$

$$N = \mu ps\operatorname{tg}\alpha. \quad (8.2.5)$$

Коэффициент распределения массы μ для сплошного цилиндра равен 0,5; для свинцовооболочечных пуль — около 0,48; для бронебойных снарядов обычной конструкции — около 0,56 и для фугасных снарядов находится в пределах 0,64—0,68.

Коэффициент фиктивности массы пули определяется по зависимости

$$\varphi = 1{,}1 + 0{,}28\frac{\omega}{q},$$

и для образцов стрелкового оружия и малокалиберных автоматических пушек находится большей частью в пределах 1,12—1,20.

Величины k_α и $\operatorname{tg}\alpha$ определяются законом изменения и частными значениями α в начале нарезов и у дульного среза (см. рис. 69 и формулы (7.5.3) и 7.5.4)).

Формула (8.2.5) позволяет определить максимальную силу давления N_{max} (при p_{max}) на боевые грани нарезов постоянной крутизны, а формула (8.2.7) — на боевой грани нарезов переменной крутизны в зависимости от давления газов p и скорости пули v в любой точке канала ствола, определяемой расстоянием l от начального положения ведущего пояска или ведущей части пули. Для этого необходимо иметь кривые $p(l)$ и $v(l)$, получаемые в результате решения задачи внутренней баллистики и кривую $\operatorname{tg}\alpha(l)$, для построения которой используется выражение (7.5.4).

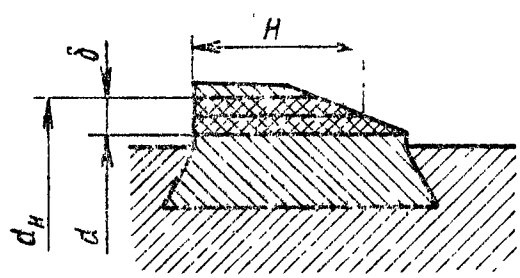


Рис. 86. **Основные размеры ведущего пояска**

Характеристикой напряженности работы ведущего устройства является максимальное давление его на боевую грань нареза, определяемое как отношение максимальной суммарной силы давления N_{max} к числу нарезов n и к поверхности сцепления ведущего устройства с боевой гранью нареза $H\delta/\cos\alpha$, т. е.

$$q_1 = \frac{N_{max}}{nH\delta}\cos\alpha, \qquad (8.2.6)$$

где H — длина ведущей части пули (ширина ведущего пояска снаряда);

δ — глубина врезания ведущего устройства в нарезы (рис. 86).

Величина удельного давления q_1 не должна превосходить 25 кгс/мм^2 для медных ведущих поясков и 30 кгс/мм^2 для стальных оболочек. При этом значение глубины врезания δ следует брать минимальным с учетом точности изготовления и температурного расширения канала ствола, пользуясь одним из следующих выражений:

$$\delta_{min} = \frac{d_{н\,min} - d_{max}}{2};$$

$$\delta_{min} = \frac{d_{п\,min} - d_{max}}{2} - \alpha \frac{d}{2} T_{ср},$$

где $d_н$ — диаметр канала ствола по нарезам;

$d_п$ — диаметр ведущего устройства (пули, пояска);

d — диаметр канала ствола по полям (калибр);

α — коэффициент линейного расширения (для стали $12 \cdot 10^{-6}$ $^1/_{град}$);

$T_{ср}$ — средняя температура стенок ствола при интенсивной стрельбе.

Из двух определенных значений δ_{min} берется наименьшее. Уменьшение удельного давления ведущего устройства на боевую грань нареза достигается рациональным сопряжением пули с поверхностью канала ствола, увеличением длины ведущей части пули (ширины ведущего пояска) и выбором закона изменения угла наклона нарезов.

8.3. НАПРЯЖЕНИЯ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В ОБОЛОЧКЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ

При движении по нарезному каналу ствола пуля приобретает большую угловую скорость вращения вокруг продольной геометрической оси. В результате этого в оболочке возникают центробежные силы инерции. У некоторых видов пуль к центробежным силам самой оболочки прибавляются действующие на нее центробежные силы свинцовой рубашки. Ввиду большой плотности свинца и небольшого сопротивления его разрыву действие свинцовой рубашки на оболочку может быть значительным.

При движении пули по каналу ствола центробежные силы, действующие на оболочку, уравновешиваются реакцией поверхности канала ствола. При выходе же пули из канала центробежные силы вызывают в оболочке тангенциальные растягивающие напряжения, которые при определенных условиях могут привести к сильной деформации или нарушению прочности оболочки и правильного (устойчивого) полета пули в воздухе.

Тангенциальные напряжения в цилиндрической вращающейся оболочке можно определить, разрезав ее осевой плоскостью и заменив действие одной половины на другую силами F_0 (рис. 87). Оболочку будем считать тонкостенной, тогда средний радиус без заметной погрешности можно заменить наружным радиусом.

Проекция элементарной центробежной силы на направление x определится так:

$$dF_0 = \frac{v^2}{r_0} \cos\alpha \, dm, \qquad (8.3.1)$$

где dm — элементарная масса;

v — окружная (касательная) скорость;

r_0 — радиус элементарной массы от оси вращения.

Максимальная касательная скорость определяется начальной скоростью пули v_0 и шагом нарезов $h = d\eta$:

$$v = 2\pi r_0 \frac{v_0}{h}.$$

Элементарная масса определяется элементарным объемом и плотностью

$$dm = \frac{l_0 t_0 \gamma_0}{g} d\tau = \frac{l_0 t_0 \gamma_0}{g} r_0 d\alpha,$$

где l_0, t_0 — длина рассматриваемого участка и толщина стенки соответственно;

γ_0 — удельный вес материала оболочки.

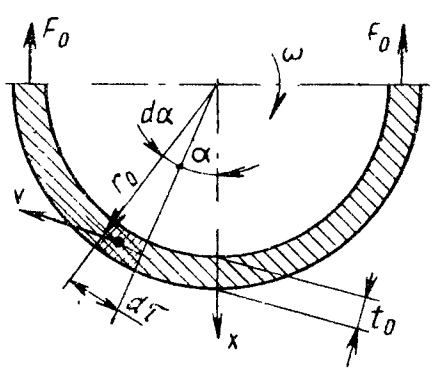


Рис. 87. Размеры вращающейся оболочки

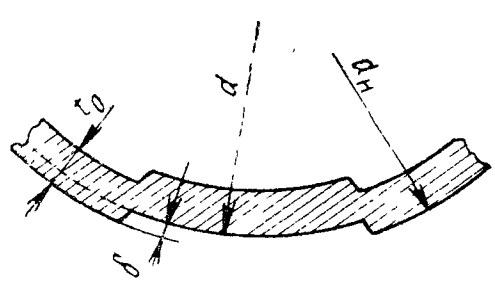


Рис. 88. Упрощенная форма оболочки после врезания в нарезы

Подставив выражения для v и dm в выражение (8.3.1), получим

$$dF_0 = 4\pi^2 r_0^2 \frac{l_0 t_0 \gamma_0}{g} \frac{v_0^2}{h^2} \cos\alpha \, d\alpha,$$

а произведя интегрирование в пределах угла α от 0 до $\frac{\pi}{2}$, мы получим выражение силы

$$F_0 = \pi^2 d_0^2 \frac{\gamma_0}{g} \frac{v_0^2}{h^2} l_0 t_0. \qquad (8.3.2)$$

По аналогии с выражением (8.3.2) можно написать выражение для центробежной силы, которая развивается в рубашке,

$$F_р = \pi^2 d_р^2 \frac{\gamma_р}{g} \frac{v_0^2}{h^2} l_р t_р, \qquad (8.3.3)$$

где $d_р = d_0 - 2t_0$ — диаметр рубашки;

$t_р = \frac{d_р - d_с}{2}$ — толщина рубашки;

$d_с$ — диаметр сердечника;

$l_р = l_0$ — длина рассматриваемого участка.

Если учесть, что выражение силы сопротивления рубашки тангенциальному растяжению имеет вид

$$f_р = l_р t_р \sigma_{в\,р}, \qquad (8.3.4)$$

и считать, что силы F_0, $F_р$, $f_р$ приложены в продольном сечении оболочки, то можно определить напряжение в оболочке от действия центробежных сил с учетом действия на нее рубашки

$$\sigma = \frac{F_0 + F_р - f_р}{l_0 (t_0 - \delta)}. \qquad (8.3.5)$$

Здесь $\delta = \frac{d_н - d}{2}$ — глубина нарезов, в зависимости от которой меняется продольное сечение оболочки (рис. 88).

Проверка на прочность стальных оболочек существующих и применявшихся пуль показывает, что напряжения от действия центробежных сил не следует допускать более 25 кгс/мм². При этом необходимо предусматривать наиболее неблагоприятные условия и брать значения t_0 наименьшими в пределах поля допуска на изготовление, а значения δ (глубина нарезов) и $t_р$ (толщина рубашки) — наибольшими. Для свинцовой рубашки можно принять $\gamma_р = 11{,}3$ гс/см³ и $\sigma_{в\,р} = 2$ кгс/мм², а для стальной оболочки $\gamma_0 = 7{,}85$ гс/см³.

Опыт также показывает, что для соблюдения равных условий прочности оболочки при изменении калибра толщину ее стенок следует назначать пропорционально калибру, что обычно и выпол-

няется на практике. Относительная толщина стенок оболочки у существующих пуль обычно находится в пределах

$$m_0 = \frac{2t_0}{d_0} = 0{,}125 - 0{,}150.$$

8.4. ПОПЕРЕЧНАЯ ПРОЧНОСТЬ ОБОЛОЧКИ

При движении пули по каналу ствола на ведущую часть ее оболочки действуют следующие силы (рис. 89):

F_1 — сила трения о поверхность канала ствола;
F_2 — сила трения сердечника о рубашку или рубашки об оболочку;
F_3 — сила давления газов на поперечное сечение стенок оболочки;
F_4 — сила инерции ведущей части оболочки;
F_5 — сила сопротивления оболочки осевому растяжению.

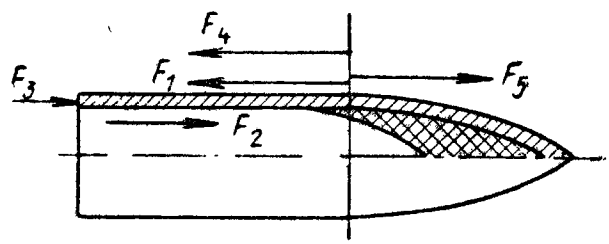


Рис. 89. Схема сил, действующих на оболочку пули при движении по каналу ствола

Для обеспечения поперечной прочности оболочки необходимо соблюдать условие

$$F_5 \geqslant F_1 - F_2 - F_3 + F_4. \qquad (8.4.1)$$

Считая, что оболочка имеет контакт только с полями, силу трения пули о поверхность канала ствола можно определить так:

$$F_1 = anH\sigma_{в\,р}f,$$

где a — ширина поля;
n — число нарезов;
H — длина ведущей части пули;
$\sigma_{в\,р}$ — удельное давление поля нареза на оболочку;
f — коэффициент трения.

Учитывая, что обычно $a = \frac{\pi}{3n} d \approx \frac{1}{n} d$, получаем

$$F_1 = dH\sigma_{в\,р}f.$$

Принимая во внимание наиболее неблагоприятные условия для соблюдения прочности оболочки, силой трения оболочки о рубашку F_2 можно пренебречь.

Сила давления газов на поперечное сечение стенок оболочки

$$F_3 = \pi (d - t_0) t_0 p,$$

где p — давление газов.

Сила инерции ведущей части оболочки

$$F_4 = \frac{\pi (d - t_0) t_0 H \gamma_0}{g} \frac{d^2x}{dt^2}.$$

Учитывая, что

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{g}{\varphi q} n_s d^2 p,$$

получим

$$F_4 = \frac{\pi (d - t_0) t_0 H \gamma_0}{\varphi q} n_s d^2 p.$$

Сила сопротивления оболочки осевому растяжению

$$F_5 = \pi (d - t_0) t_0 \sigma_в.$$

С учетом полученных выражений для сил F_1—F_5 выражение (8.4.1) примет вид

$$H \leqslant \frac{\pi (d - t_0) t_0 (\sigma_в + p)}{d \sigma_{в\,р} f + \frac{n_s d^2}{\varphi q} \pi (d - t_0) t_0 \gamma_0 p}. \qquad (8.4.2)$$

Есть два характерных момента выстрела, для которых следует проверить прочность оболочки: момент форсирования и момент максимального давления пороховых газов. Величина давления $\sigma_{вр}$ определяется по опытной величине усилия проталкивания пули по каналу ствола

$$F_1 = d_1 H_1 \sigma_{в\,р} f,$$

откуда

$$\sigma_{в\,р} f = \frac{F_1}{d_1 H_1}.$$

С учетом этого выражение (8.4.2) примет вид

$$H \leqslant \frac{\sigma_в + p}{\frac{d}{\pi (d - t_0) t_0} \frac{F_1}{d_1 H_1} + \frac{n_s d^2}{\varphi q} \gamma_0 p}, \qquad (8.4.3)$$

где H_1 — длина ведущей части проталкиваемой пули;
F_1 — опытное усилие проталкивания пули по каналу;
d_1 — калибр проталкиваемой пули.

Величины F_1, полученные при статическом проталкивании двух пуль со стальными сердечниками через канал ствола, приводятся на рис. 90 (каждая точка есть среднее десяти измерений).

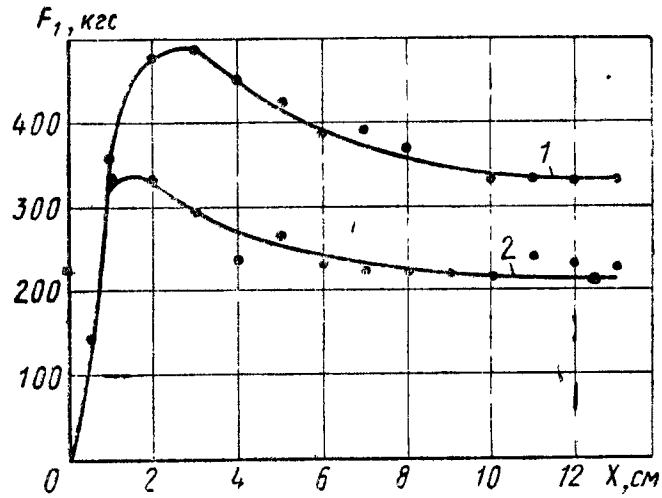


Рис. 90. Графики усилий статического проталкивания пуль по каналу ствола:
1 — винтовочной; *2* — обр. 1943 г.

8.5. НАПРЯЖЕНИЯ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В СТЕНКАХ КОРПУСА СНАРЯДА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ ИНЕРЦИИ

При движении снаряда по каналу ствола в стенках его корпуса (или другого элемента) развиваются инерционные силы и напряжения. Эти напряжения не должны превосходить допускаемые величины.

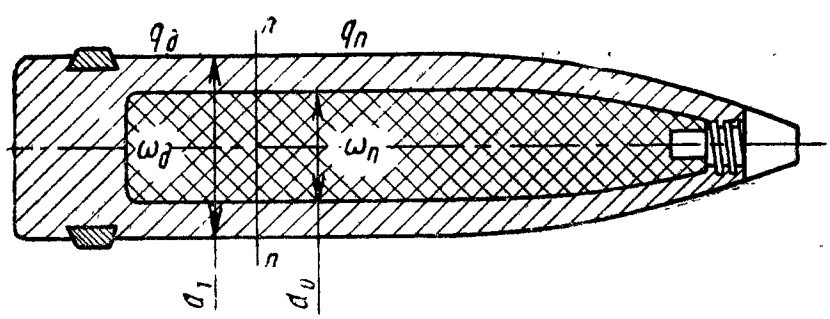


Рис. 91. К определению напряжений в снаряде:
$q_д$, $q_п$ — веса донной и передней частей корпуса снаряда; $\omega_д$, $\omega_п$ — веса донной и передней частей заряда

Если разделить снаряд (или другой снаряженный элемент) сечением n—n на две части (рис. 91) и обозначить диаметры внутренней и наружной поверхности корпуса в этом сечении соот-

ветственно d_0 и d_1, то напряжение в стенках определяется как отношение силы инерции передней части корпуса $F_п$ относительно $n—n$ к площади поперечного сечения стенок

$$|\sigma_x| = \frac{4F_п}{\pi (d_1^2 - d_0^2)} .$$

Учитывая, что

$$F_п = \frac{q_п}{g} \frac{d^2x}{dt^2}, \text{ а } \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{g}{\varphi q} \frac{\pi d^2}{4} p,$$

и принимая во внимание максимальное давление, получаем

$$|\sigma_x| = \frac{d^2}{d_1^2 - d_0^2} \frac{q_п}{\varphi q} p_{max}, \qquad (8.5.1)$$

где $q_п$ — вес передней части корпуса снаряда;
d — калибр оружия;
φ — коэффициент фиктивности массы снаряда.

Для сплошного снаряда $d_0=0$ и

$$|\sigma_x| = \frac{d^2}{d_1^2} \frac{q_п}{\varphi q} p_{max}. \qquad (8.5.2)$$

Напряжение стенок корпуса не должно превосходить предел текучести металла корпуса, поэтому условие прочности

$$|\sigma_x| \leqslant \sigma_т.$$

8.6. НАПРЯЖЕНИЕ В ЗАРЯДЕ (СНАРЯЖЕНИИ)

Выражение (8.5.1) получено в предположении, что снаряжение не оказывает влияния на напряженное состояние корпуса, что существуют только напряжения сжатия стенок корпуса в осевом направлении. В действительности снаряжение оказывает влияние на напряженное состояние, вызывая радиальное σ_r и тангенциальное σ_τ напряжения. Для определения влияния снаряжения на прочность корпуса снаряда (снаряженного элемента) необходимо знать напряжение в заряде при выстреле. Оно может быть определено по формуле

$$|\sigma_\omega| = \frac{d^2}{d_0^2} \frac{\omega_п}{\varphi q} p_{max},$$

аналогичной выражению (8.5.2).

Знание напряжения в заряде имеет самостоятельное значение. Для различных взрывчатых веществ установлены верхние границы безопасного напряжения. За этими границами не исключена детонация взрывчатого вещества. Для черного пороха, например, напряжение допускается не более 150 кгс/см², для мелинита — не более 500 кгс/см², для тротила и амматола — не более 1000 кгс/см². В противном случае конфигурацией внутреннего объема корпуса, уменьшением длины заряда добиваются уменьшения $\omega_п$ и σ_ω или подбирают менее чувствительное взрывчатое вещество, иногда применяя флегматизаторы.

8.7. УЧЕТ ВЛИЯНИЯ СНАРЯЖЕНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ КОРПУСА СНАРЯДА

Если считать снаряжение жидким, то полученное ранее напряжение в заряде σ_ω (см. выражение (8.6.1)) можно рассматривать как давление внутри корпуса в рассматриваемом сечении. Максимальные значения радиальных и тангенциальных напряжений во внутренней поверхности корпуса можно определить так:

$$\sigma_{r0} = -|\sigma_\omega| = -\frac{d^2}{d_0^2}\,\frac{\omega_п}{\varphi q}\,p_{max};$$

$$\sigma_{t0} = \frac{d_1^2 + d_0^2}{d_1^2 - d_0^2}\,|\sigma_\omega| = \frac{d_1^2 + d_0^2}{d_1^2 - d_0^2}\,\frac{d^2}{d_0^2}\,\frac{\omega_п}{\varphi q}\,p_{max}.$$

Учтя знак напряжения, выражение (8.5.1) запишем в следующем виде:

$$\sigma_x = -\frac{d^2}{d_1^2 - d_0^2}\,\frac{q_п}{\varphi q}\,p_{max}.$$

Принимая за критерий прочности энергию формоизменения, получаем

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(\sigma_x - \sigma_{r0})^2 + (\sigma_{r0} - \sigma_{t0})^2 + (\sigma_{t0} - \sigma_x)^2}.$$

Подставив сюда выражения для напряжений, получим

$$\sigma = \frac{d^2}{d_1^2 - d_0^2}\,\frac{q_п}{\varphi q}\,p_{max}\sqrt{1 + 2b_п + (3a^4 + 1)\,b_п^2},$$

или

$$\sigma = |\sigma_x|\sqrt{1 + 2b_п + (3a^4 + 1)\,b_п^2}, \qquad (8.7.1)$$

где

$$a = \frac{d_1}{d_0} \quad \text{и} \quad b_п = \frac{\omega_п}{q_п}.$$

Очевидно, должно быть сохранено условие $\sigma \leqslant \sigma_т$. Изменения величины σ можно достигнуть путем изменения d_0.

8.8. НАПРЯЖЕНИЯ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В СТЕНКАХ КОРПУСА СНАРЯДА ПРИ УДАРЕ ЕГО В БРОНЮ

Рассмотрим наиболее неблагоприятный случай, когда вся кинетическая энергия снаряда тратится на пробитие брони, а скорость его падает от $v_с$ до 0. Пренебрегая потерями энергии на нагрев брони и снаряда, а также приняв для простоты сопротивление брони прониканию снаряда постоянным значением $F_б$ и встречу снаряда с броней по нормали, можно написать равенство работ

$$F_б s = \frac{q v_с^2}{2g}, \tag{8.8.1}$$

где s — глубина проникания снаряда (сердечника).

Определив из равенства (8.8.1) сопротивление брони, можно определить среднее ускорение снаряда в броне, пользуясь уравнением движения

$$\frac{q}{g}\left|\frac{d^2x}{dt^2}\right| = F_б = \frac{q v_с^2}{2gs},$$

откуда

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{v_с^2}{2s}.$$

Зная ускорение, можно определить силу инерции донной части корпуса снаряда относительно рассматриваемого сечения

$$F_д = \frac{q_д}{g}\left|\frac{d^2x}{dt^2}\right| = \frac{q_д}{g}\,\frac{v_с^2}{2s}$$

и напряжение в стенках корпуса

$$|\sigma_x| = \frac{4F_д}{\pi(d_1^2 - d_0^2)} = \frac{2q_д}{\pi g(d_1^2 - d_0^2)}\,\frac{v_с^2}{s}. \tag{8.8.2}$$

Для определения отношения $\frac{v_с^2}{s}$ необходимо воспользоваться одной из формул бронепробиваемости. Используя, например, формулу (1.7.3) при $\cos\alpha = 1$

$$v_с = K\frac{d s^{0,5}}{q^{0,5}},$$

получим

$$\frac{v_c^2}{s} = K^2 \frac{d^2}{q}, \qquad (8.8.3)$$

где K — опытный коэффициент бронепробиваемости.

Подставив равенство (8.8.3) в выражение (8.8.2), окончательно получим

$$|\sigma_x| = \frac{2K}{\pi g} \frac{d^2}{d_1^2 - d_0^2} \frac{q_д}{q}.$$

Для сплошной части снаряда $d_0 = 0$ и

$$|\sigma_x| = \frac{2K^2}{\pi g} \frac{d^2}{d_1^2} \frac{q_д}{q}.$$

По аналогии с выражением (8.7.1) можно учесть влияние снаряжения на напряжение в стенках корпуса

$$\sigma = |\sigma_x| \sqrt{1 + 2b_д + (3a^4 + 1) b_д^2},$$

где $b_д = \frac{\omega_д}{q_д}$ — отношение веса донной части заряда относительно рассматриваемого сечения к весу донной части корпуса.

Длительной практикой установлено, что в стенках корпуса бронебойного снаряда или в стальном сердечнике допускаются напряжения при ударе в броню порядка 200—220 кгс/мм^2.

Напряжения в разрывном заряде при ударе снаряда в броню достигают величины, определяемой по выражению

$$|\sigma_\omega| = \frac{2K^2}{\pi g} \frac{d^2}{d_0^2} \frac{\omega_д}{q}.$$

Допустимые нормы для этих напряжений не установлены. Для предотвращения преждевременной детонации ВВ его обычно подвергают флегматизации.

8.9. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И ВЗВОДИМОСТИ ВЗРЫВАТЕЛЕЙ С ИНЕРЦИОННЫМИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЯМИ

Безопасность спецпуль и взрывателей в обращении обеспечивается предохранителями, скрепляющими детали, от которых зависит действие ударного механизма. Освобождение таких деталей (взведение механизма) должно происходить при движении пули по каналу ствола или за дульным срезом, но не в условиях служебного обращения, что делало бы патроны опасными.

Чтобы специальные пули удовлетворяли требованиям безопасности и взводимости, необходимо, чтобы предохранители надежно удерживали соответствующие детали (ударники) во всех случаях служебного обращения с патронами и освобождали их при движении пули по каналу ствола или при вылете из него. Взведение ударного механизма происходит обычно под действием продольных (линейных) или поперечных (центробежных) сил инерции. В зависимости от этого и предохранители делятся на инерционные и центробежные.

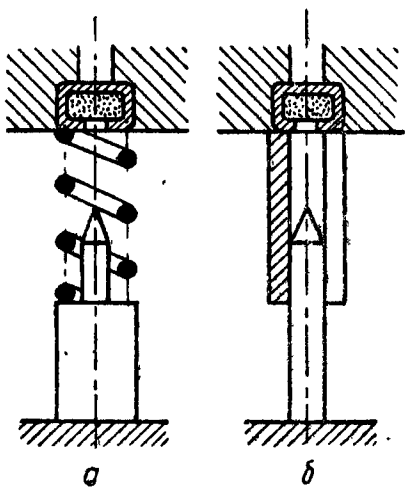


Рис. 92. Схемы инерционных предохранителей:
а — пружинного;
б — жесткого

Основной характеристикой инерционного предохранителя (рис. 92) является его сопротивление R, т. е. усилие, которое необходимо приложить к удерживаемой им детали (обычно ударнику), чтобы переместить ее в положение, отвечающее взведенному состоянию. Это сопротивление и должно удовлетворять условиям безопасности и взводимости

$$aP_1 \leqslant R \leqslant bk_1P_2, \qquad (8.9.1)$$

где P_1 — вес наиболее тяжелой из удерживаемых предохранителем деталей, включая и сам предохранитель;
a — коэффициент безопасности;
P_2 — вес взводящей детали (обычно ею является сам предохранитель);
b — коэффициент надежности взведения, учитывающий изменение максимального давления пороховых газов;
k_1 — коэффициент линейной взводимости (максимальная сила инерции взводящей детали, отнесенная к ее весу).

Допуская сопротивления предохранителя в пределах от R_{min} до R_{max}, выражение (8.9.1) можно записать в виде

$$a \leqslant \frac{R_{min}}{P_1} \div \frac{R_{max}}{P_2} \leqslant bk_1.$$

Различают предохранители жесткие и пружинные. Последние характерны тем, что они не получают остаточных деформаций под действием случайных сил при служебном обращении, всегда восстанавливают свое положение и являются в этом отношении более безопасными в сравнении с жесткими предохранителями, не обладающими этим свойством. Поэтому коэффициент безопасности a обычно принимают равным 1500 для пружинных предохранителей и 2000 для жестких предохранителей. Коэффициент надежности взведения b обычно принимают равным 2/3.

Коэффициент линейной взводимости определяется по максимальному давлению газов p_{max}, весу пули q и площади поперечного сечения канала ствола $n_s d^2$:

$$k_l = \frac{1}{g}\left(\frac{dv}{dt}\right)_{max} = \frac{1}{g}\frac{g}{q} p_{max} n_s d^2 = \frac{1}{q} p_{max} n_s d^2.$$

Сопротивления предохранителя R_{min} и R_{max} удается установить расчетом лишь в простейших случаях (в случае пружинного предохранителя). Бóльшей частью (для жестких предохранителей) они определяются опытным путем.

Отношение R_{max} и R_{min} характеризует необходимую точность изготовления инерционного предохранителя. Чем больше это отношение, тем с меньшей точностью может быть изготовлен предохранитель. При очень узких пределах изменения сопротивления предохранителя изготовление его в условиях производства может оказаться практически невозможным без большого количества брака. Эти трудности не возникают при соотношениях:

$R_{max} \geqslant 1{,}4\ R_{min}$ для жестких предохранителей;

$R_{max} \geqslant 1{,}2\ R_{min}$ для пружинных предохранителей.

8.10. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И ВЗВОДИМОСТИ ВЗРЫВАТЕЛЕЙ С ЦЕНТРОБЕЖНЫМИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЯМИ

Центробежные предохранители являются, как правило, пружинными. Условия безопасности и взводимости для этого типа предохранителей записываются в виде:

$$\alpha P (r_0 + a) \leqslant R \leqslant \beta k_2 P (r_0 + a), \qquad (8.10.1)$$

где α — коэффициент безопасности;
P — вес взводящей детали (предохранителя);
r_0 — расстояние от оси вращения до центра тяжести предохранителя (рис. 93);
a — путь предохранителя (стопора) до момента освобождения удерживаемой детали (ударника);

β — коэффициент надежности взведения, учитывающий изменение начальной скорости пули;

k_2 — коэффициент центробежной взводимости (максимальная центробежная сила стопора, отнесенная к моменту веса относительно оси вращения).

Поделив части неравенств (8.10.1) на произведение $P(r_0+a)$ и введя пределы изменения сопротивления, получим

$$a \leqslant \frac{R_{min}}{P(r_0+a)} \div \frac{R_{max}}{P(r_0+a)} \leqslant \beta k_2. \qquad (8.10.2)$$

Значение коэффициента безопасности определяется из условия качения пули (патрона) по наклонной плоскости или падения ее с определенной высоты на наклонную плоскость, что не исключено в условиях служебного обращения с боеприпасами. При ска-

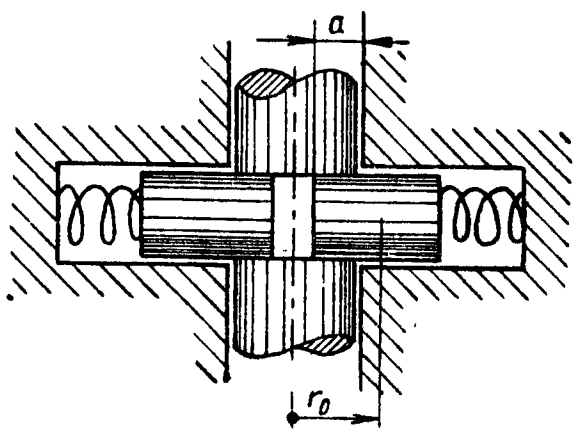


Рис. 93. Схема центробежного предохранителя

тывании (падении) с высоты H пуля совершает работу qH, равную сумме кинетической энергии поступательного и вращательного движений:

$$qH = \frac{q}{g}\frac{v_к^2}{2} + J_A\frac{\omega_к^2}{2}, \qquad (8.10.3)$$

где $v_к = \frac{d}{2}\omega_к$ — скорость поступательного движения пули, равная при отсутствии скольжения касательной скорости;

$\omega_к$ — угловая скорость;

$J_A = \mu\frac{q}{g}\frac{d^2}{4} \approx \frac{q}{g}\frac{d^2}{8}$ — полярный момент инерции пули.

Подставляя выражения для $v_к$, J_A в равенство (8.10.3), получаем

$$\omega_к = \frac{16}{3}\frac{gH}{d^2}.$$

При скатывании пули по наклонной плоскости развивается центробежная сила

$$\alpha P(r_0 + a) = \frac{P}{g}(r_0 + a)\,\omega_к^2 = \frac{P}{g}(r_0 + a)\,\frac{16}{3}\,\frac{gH}{d^2},$$

откуда

$$\alpha = \frac{16}{3}\,\frac{H}{d^2}.$$

Таким образом, коэффициент безопасности определяется калибром и высотой скатывания (падения) пули. Безопасную высоту в боеприпасах, например, принимают обычно 10 м. Для калибра, например, 14,5 мм имеем $\alpha = \frac{16}{3}\,\frac{1000}{1{,}45^2} = 2540$ 1/см.

Коэффициент центробежной взводимости определяется максимальной угловой скоростью вращения пули при выстреле

$$k_2 = \frac{1}{g}\,\omega_к^2 = \frac{1}{g}(2\pi)^2\,\frac{v_д^2}{h^2},$$

где $v_д$ — дульная скорость пули;
h — шаг нарезов.

Коэффициент надежности взведения принимается обычно $\beta = 0{,}80 \div 0{,}85$.

Условия (8.10.2) позволяют определить допустимое сопротивление и характеристики пружины центробежного предохранителя, необходимые для обеспечения безопасности и надежной взводимости,

$$R = \eta(a + \lambda_0),$$

где λ_0 — предварительное поджатие пружины;
α — рабочий ход конца пружины;
η — коэффициент жесткости пружины.

Характеристики пружины, соответствующие заданным значениям R_{min} и R_{max}, могут быть подобраны опытным путем, что обычно и делается на практике*.

ПРИМЕРЫ

Пример 8.1. Определить удельное давление боевой грани нареза на оболочку 14,5-мм пули Б-32, если максимальное давление пороховых газов может достигать 3400 кгс/см², а шаг нарезов постоянной крутизны 420 мм.

---

* Здесь даются самые общие указания о безопасности и взводимости. Для более глубокого знакомства с этими вопросами следует обратиться к специальной литературе по взрывателям.

Решение

Определяем длину хода нарезов в калибрах и тангенс угла наклона нарезов

$$\eta = \frac{420}{14,5} = 29 \text{ калибров}; \quad \operatorname{tg}\alpha = \frac{\pi}{\eta} = 0,1085.$$

Воспользуемся выражением (8.2.8), приняв $\mu = 0,5$ и

$$s = n_s d^2 = 0,82 \cdot 1,45^2 = 1,725 \text{ см}^2,$$

$$N_{max} = 0,5 \cdot 3400 \cdot 1,725 \cdot 0,1085 = 318 \text{ кгс}.$$

Определяем минимальную глубину врезания пули в нарезы, пользуясь чертежными размерами пули и канала ствола и принимая во внимание возможный нагрев ствола до 300° С:

$$\delta_{min} = \frac{d_{н\,min} - d_{max}}{2} = \frac{14,93 - 14,57}{2} = 0,18 \text{ мм};$$

$$\delta_{min} = \frac{d_{п\,min} - d_{max}}{2} - \alpha \frac{d}{2} t = \frac{14,88 - 14,57}{2} -$$

$$- 12 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{14,5}{2} \cdot 300 = 0,129 \text{ мм}.$$

Определяем максимальное удельное давление боевой грани нареза на оболочку, пользуясь выражением (8.2.6) и учитывая, что по таблицам натуральных тригонометрических функций $\operatorname{tg}\alpha = 0,1085$ соответствует $\cos\alpha = 0,99645$,

$$q_1 = \frac{318}{8 \cdot 22 \cdot 0,129} 0,99645 = 14 \text{ кгс/мм}^2.$$

Надежное ведение пули по нарезам обеспечено.

Пример 8.2. Определить для предыдущего примера тангенциальные напряжения в оболочке от действия центробежных сил, если начальная скорость 14,5-мм пули Б-32 $v_0 = 1000$ м/с.

Решение

Определим по чертежу пули: $t_0 = 0,8$ см; $d_c = 12,35$ см.

Примем $d_0 = d_н = 1,5$ см; $l_0 = l_р = 1$ см и определим: определим:

$$d_р = d_0 - 2t_0 = 1.5 - 2 \cdot 0,08 = 1,34 \text{ см};$$

$$t_р = \frac{d_р - d_c}{2} = \frac{1,34 - 1,235}{2} = 0,05 \text{ см};$$

$$\delta = \frac{d_н - d}{2} = \frac{1,5 - 1,45}{2} = 0,025 \text{ см}.$$

Пользуясь выражениями (8.3.2), (8.3.3) и (8.3.4), определяем:

$$F_0 = 3{,}14^2 \cdot 1{,}5^2 \cdot \frac{7{,}85}{981} \cdot \frac{1000^2 \cdot 100^2}{42^2} \cdot 0{,}08 = 80600 \text{ гс} = 80{,}6 \text{ кгс};$$

$$F_р = 3{,}14^2 \cdot 1{,}34^2 \cdot \frac{11{,}3}{981} \cdot \frac{1000^2 \cdot 100^2}{42^2} \cdot 0{,}05 = 5780 \text{ гс} = 57{,}8 \text{ кгс};$$

$$f_р = 10 \cdot 0{,}5 \cdot 2 = 10 \text{ кгс}.$$

Определяем напряжение в оболочке, пользуясь выражением (8.3.5):

$$\sigma = \frac{80{,}6 + 57{,}8 - 10}{10(0{,}8 - 0{,}25)} = 23{,}4 \text{ кгс/мм}^2.$$

Как видим, оно значительно, но не превосходит допускаемого (25 кгс/мм^2).

Пример 8.3. Проверить поперечную прочность оболочки 14,5-мм пули Б-32, если максимальное давление пороховых газов может достигать 3400 кгс/см^2.

Решение

Для определения силы трения оболочки о поверхность канала ствола воспользуемся опытными данными для 7,62-мм винтовочной пули (см. рис. 90), откуда

$$\sigma_{вр} f = \frac{F_1}{d_1 H_1} = \frac{490}{7{,}62 \cdot 7{,}8} = 8{,}25 \text{ кгс/мм}^2.$$

Воспользуемся выражением (8.4.3), приняв предел прочности металла оболочки $\sigma_в = 40$ кгс/мм^2, толщину оболочки $t_0 = 0{,}9$ мм и коэффициент фиктивности массы пули $\varphi = 1{,}2$:

$$H \leqslant \frac{40 + 34}{\dfrac{14{,}5 \cdot 8{,}25}{3{,}14(14{,}5 - 0{,}9)\,0{,}9} + \dfrac{0{,}82 \cdot 14{,}5^2}{1{,}2 \cdot 65 \cdot 10^{-3}} \cdot \dfrac{7{,}85 \cdot 10^{-3}}{10^3} 34} = 20 \text{ мм}.$$

Длина ведущей части 14,5-мм пули Б-32 около 20 мм.

Глава 9

КОНСТРУКЦИИ ГИЛЬЗ

9.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГИЛЬЗАХ

Гильза соединяет в одно целое все элементы унитарного патрона (пулю, пороховой заряд и капсюль-воспламенитель), обтюрирует пороховые газы с казенной части ствола при выстреле и изолирует пороховой заряд, трассирующий и капсюльный составы от воздействия внешней среды. Она таким образом облегчает процесс заряжания оружия, создает условия для автоматизации этого процесса и резкого увеличения скорострельности, а также обеспечивает длительное хранение патронов на складах и в других условиях.

Пороховой заряд размещается в корпусе гильзы (рис. 94, 95), а пуля крепится в дульце. Переходная часть от дульца к корпусу называется скатом. Гильзы со скатом получили название бутылочных, а без ската — цилиндрических. В донной части гильза имеет фланец, за который она извлекается выбрасывателем из патронника после выстрела. Капсюльное гнездо сообщается с внутренней полостью (каморой) гильзы запальными отверстиями. Выступающая часть дна капсюльного гнезда, имеющая обычно полусферическую форму, называется наковальней. На ней разбивается ударный (капсюльный) состав при ударе бойка по капсюлю. В зависимости от устройства капсюля капсюльное гнездо может иметь и иное устройство.

Гильзы изготовляются из латуни или малоуглеродистой стали. Малоуглеродистая сталь, как более дешевый материал, почти полностью заменила латунь в гильзовом производстве. Во время перехода на патронное заряжание в стрелковом оружии применялись бумажные гильзы. В настоящее время их применяют только в охотничьем оружии и в некоторых системах сигнальных пистолетов (ракетниц) и минометов. В истории развития патронов наблюдались неоднократные попытки применить для изготовления гильз пластические массы, горючие материалы и др. Однако до сих пор на вооружении армий остаются патроны только с металлической гильзой.

В зависимости от способа изготовления металлические гильзы бывают цельнотянутые и составные. Последние бывают с цельнотянутым или свернутым корпусом. Составные гильзы со свернутым корпусом применялись в свое время в стрелковом оружии наряду с цельнотянутыми. Свернутый корпус мог увеличиваться в диаметре при выстреле на большую величину в сравнении с цельнотянутым, что позволяло обрабатывать патронник и гильзу с низкой точностью. По мере усовершенствования технологии изготовления оружия и патронов это преимущество свернутых гильз теряло свое значение. С учетом того, что патрон со свернутым корпусом гильзы не мог быть герметичным, унитарные патроны с цельнотянутой металлической гильзой получили в последствии преимущественное применение.

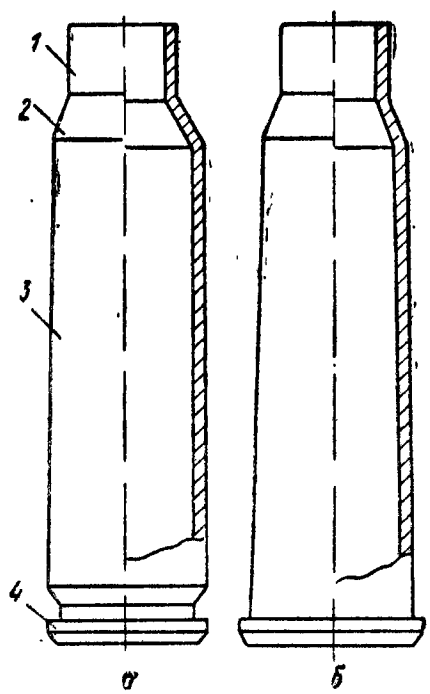


Рис. 94. Бутылочные гильзы с невыступающим (а) и с выступающим (б) фланцами:
1 — дульце; *2* — скат; *3* — корпус; *4* — фланец

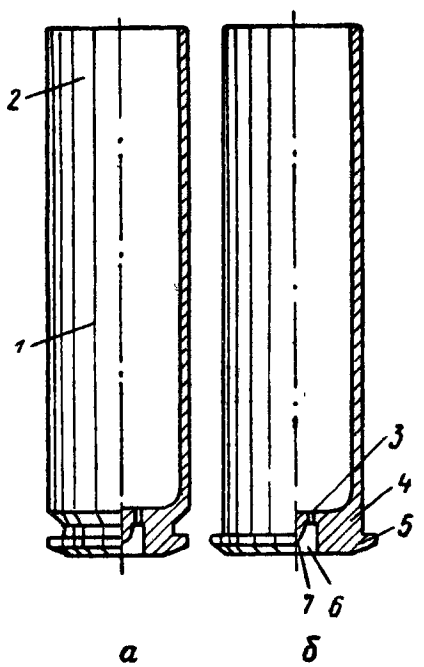


Рис. 95. Цилиндрические гильзы с невыступающим (а) и с выступающим (б) фланцами:
1 — корпус; *2* — дульце; *3* — запальное отверстие; *4* — донная часть; *5* — фланец; *6* — капсюльное гнездо; *7* — наковальня

Составные гильзы со штампованным дном и свернутым из треугольника (косынки) листового материала корпусом периодически возрождались применительно к артиллерийским выстрелам. Это наблюдалось обычно в военное время, когда для изготовления большого количества цельнотянутых гильз требуется большое количество мощного прессового оборудования, а патроны (выстрелы) хранятся непродолжительное время. В патронах стрелкового

оружия и малокалиберных автоматических пушек составные гильзы не применяются, хотя это применение не исключается в будущем, в частности, как средство обеспечения нормальной работы оружия при больших давлениях пороховых газов в канале ствола.

9.2. БУТЫЛОЧНОСТЬ ГИЛЬЗ

Важной характеристикой формы гильзы (патрона) является коэффициент бутылочности ψ*, определяемый соотношением продольных и поперечных размеров каморы заряжания:

$$\psi = \sqrt{\frac{l_0}{l_{км}}}, \qquad (9.2.1)$$

где l_0 — приведенная длина каморы;
$l_{км}$ — истинная длина каморы.

Обозначив объем каморы W_0, калибр d и диаметр внутренней поверхности корпуса гильзы в среднем сечении $d_{0\,ср}$, получим:

$$l_0 = \frac{4W_0}{\pi d^2}; \quad l_{км} = \frac{4W_0}{\pi d_{0ср}^2}; \qquad \psi = \frac{d_{0ср}}{d}.$$

С достаточной для практики точностью коэффициент бутылочности можно определить по наружным размерам существующей гильзы (патрона)

$$\psi = \frac{d_{ср}}{d_д}, \qquad (9.2.2)$$

где $d_{ср}$ — наружный диаметр гильзы (патрона) в среднем сечении ее корпуса;
$d_д$ — наружный диаметр дульца.

Бутылочность гильзы оказывает влияние на свойства самого патрона и на свойства оружия (габариты, вес, условия подачи патронов и работу автоматики). Этим определяется большой интерес к форме гильзы при ее проектировании.

С увеличением коэффициента бутылочности обычно увеличивается вес гильзы и патрона (в основном за счет дна гильзы), требуются дополнительные операции обжима дульца и термической его обработки (отжига) в процессе производства. Вместе с тем с увеличением бутылочности уменьшается длина стенок гильзы, количество операций вытяжки стенок и их отжига.

С увеличением коэффициента бутылочности (с уменьшением длины патрона) уменьшается длина продольного хода частей

---

* Величину $\chi = \psi^2$ называют уширением каморы.

автоматики и длина оружия. Зато увеличиваются поперечные размеры казенной части ствола, затвора и ствольной коробки, увеличивается шаг подачи ленты при ленточном питании патронами, возрастают передаточные числа и нагрузки в механизмах подачи, что вынуждает иногда увеличивать длину хода автоматики.

Для обеспечения оптимальных габаритов и веса оружия для каждой его конструкции существует оптимальное значение коэффициента бутылочности патрона за исключением систем оружия, стреляющих относительно маломощным патроном (пистолеты-пулеметы, станковые пулеметы), у которых габариты и вес лимитируются в основном не формой патрона.

Поскольку один и тот же вид патрона с различными пулями применяется обычно для стрельбы из нескольких образцов оружия, основанных на различных принципах использования энергии пороховых газов и имеющих различные конструктивные особенности, постольку нельзя заранее определить коэффициент формы его, одинаково выгодный для всех образцов оружия.

Для ориентировочного выбора коэффициента бутылочности патрона при его проектировании можно рекомендовать следующую эмпирическую зависимость, неплохо отражающую существующую практику,

$$\psi = 1{,}1\sqrt[3]{\frac{l_0}{l_п}}, \qquad (9.2.3)$$

где $l_п$ — длина основной, наиболее распространенной пули.

Таблица 22

Значения коэффициента бутылочности

Коэффициент бутылочности, ψ	Патрон				
	7,62-мм	12,7-мм	14,5-мм	20-мм	23-мм
Расчетный	1,33	1,49	1,65	1,23	1,33
Действительный	1,41	1,47	1,59	1,00	1,33

Отношение приведенной длины каморы заряжания и длины пули косвенно отражает отношение веса заряда и веса пули (относительный вес заряда), поэтому коэффициент бутылочности должен увеличиваться с увеличением мощности патрона. Это и наблюдается на практике, что видно из табл. 22, где приведены значения коэффициента бутылочности, подсчитанные по выражению (9.2.3), и действительные $\psi_{дейст}$ для некоторых существующих патронов.

9.3. СПОСОБЫ ФИКСАЦИИ ПАТРОНА В ПАТРОННИКЕ

В зависимости от особенностей формы гильзы различным образом осуществляется фиксация патрона в патроннике перед выстрелом. Если гильза имеет выступающий или частично выступающий фланец, то патрон фиксируется упором фланца в казенный срез ствола. Если гильза имеет невыступающий фланец, то фиксация патрона осуществляется или упором ската гильзы в скат патронника (бутылочные патроны), или упором торца дульца гильзы в уступ патронника (цилиндрические патроны). При наличии цилиндрического выступа на корпусе гильзы патрон фиксируется упором этого выступа в уступ патронника.

В процессе производства оружия и патронов устанавливаются определенные пределы положения дна чашечки («зеркала») затвора относительно фиксирующей поверхности патронника, контролируемые предельными калибрами-шашками, и определенные пределы положения наружной поверхности дна гильзы относительно фиксирующей поверхности гильзы, контролируемые соответствующими предельными калибрами.

В результате этого каждый образец оружия, имея присущие ему размеры калибров-шашек, имеет также определенные пределы величины зазора между дном гильзы и дном чашечки затвора. Минимальная величина этого зазора устанавливается исходя из условий возможности гарантированного запирания затвора, а максимальная величина определяется для каждого образца оружия опытным путем исходя из условий соблюдения прочности гильзы от поперечных разрывов при стрельбе, надежности и безопасности выстрела. Поэтому при сравнительной оценке способов фиксации патронов можно считать, что пределы зазора x_0 между дном гильзы и дном чашечки («зеркалом») затвора заданы.

При *фиксации патрона фланцем* фиксирующими поверхностями являются казенный срез ствола и передняя грань выступающего (частично выступающего) фланца (рис. 96). Величина «зеркального» зазора

$$x_0 = ш - h_з.$$

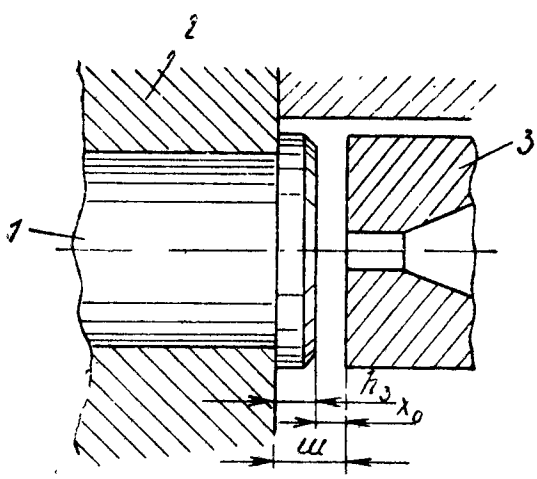


Рис. 96. Схема фиксации патрона выступающим фланцем:
1 — патрон; *2* — ствол; *3* — затвор

Подставляя сюда предельные значения размеров и вычитая одно равенство из другого, получаем разность предельных размеров калибра-шашки

$$\delta ш = x_0 - \delta h_з, \qquad (9.3.1)$$

где x_0 — максимально допустимый «зеркальный» зазор (минимальный зазор принимается равным нулю);
$\delta h_з$ — допуск на толщину фланца.

Как видно из выражения (9.3.1), при фиксации патрона фланцем разность предельных размеров калибра-шашки $\delta ш$, характеризующая точность изготовления деталей узла запирания, зависит при заданном значении x_0 только от допуска на толщину фланца $\delta h_з$ и не зависит от точности изготовления гильзы по другим размерам и точности изготовления патронника. В этом случае создаются наиболее благоприятные условия для наименее точного изготовления гильз по наружным размерам и деталей узла запирания, а также для обеспечения взаимозаменяемости последних. В этом заключается одно из достоинств гильз с выступающим и частично выступающим фланцем.

Гильзы с выступающим фланцем обладают наиболее прочным дном, которое лучше сопротивляется осевому сжимающему усилию при выстреле по сравнению, например, с гильзами, имеющими кольцевую проточку.

Наряду с достоинствами, гильзы с выступающим фланцем обладают существенными недостатками. Наличие выступающего фланца приводит к увеличению поперечных размеров затвора и ствольной коробки, к ухудшению условий подачи патронов в автоматическом оружии.

Прямая ленточная подача патронов, как наиболее простая в осуществлении, практически невозможна при выступающем фланце гильзы. Усложняется конструкция патронных магазинов, требуются специальные меры, гарантирующие от сцепления патронов фланцами при подаче из магазина. Все это усложняет конструкцию и снижает одно из основных качеств автоматического оружия — безотказность его работы.

Гильзы с выступающим фланцем проектировались в прошлом для неавтоматического оружия. Для современного автоматического оружия этот тип гильзы считается устаревшим и в более поздних образцах патронов стрелкового оружия не применяется.

Существенно избавлены от таких недостатков гильзы с частично выступающим фланцем. Обладая основными достоинствами гильз с выступающим фланцем, они позволяют осуществить прямую ленточную подачу патронов и избежать сцепления патронов фланцами при подаче из магазина, для чего достаточно предусмотреть фаску на фланце со стороны дна гильзы.

При *фиксации патрона скатом* фиксирующими поверхностями являются скат гильзы и скат патронника (рис. 97). В зависимости от соотношения углов ската гильзы и ската патронника фиксация патрона может осуществляться по линии *аа* или по линии *вв*. Рассмотрим случай фиксации патрона по линии *вв*.

Способом, аналогичным примененному ранее, можно получить

такое выражение для точности предельных значений калибра-шашки

$$\delta ш = x_0 - \delta h_г - \delta h_с - \frac{1}{2}(\delta d_г + \delta d_с)\operatorname{ctg}\frac{\alpha}{2}, \qquad (9.3.2)$$

где $\delta h_г$, $\delta h_с$ — допуски на длины корпуса гильзы и первого конуса патронника;

$\delta d_г$, $\delta d_с$ — допуски на диаметры гильзы и патронника.

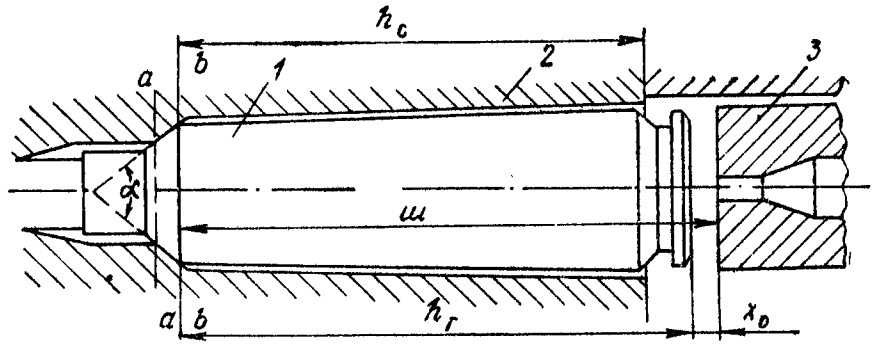


Рис. 97. Схема фиксации патрона скатом гильзы:
1 — патрон; *2* — ствол; *3* — затвор

Из выражения (9.3.2) видно, что при фиксации патрона скатом гильзы разность предельных размеров калибра-шашки, характеризующая точность изготовления деталей узла запирания, зависит, при заданном значении x_0, от точности изготовления гильзы и патронника. Вследствие этого обычно требуется более высокая точность изготовления деталей узла запирания для обеспечения их взаимозаменяемости. Это является недостатком способа фиксации патрона скатом гильзы.

Однако этот недостаток не имеет существенного значения в условиях непрерывно совершенствующейся технологии изготовления патронов и оружия, и на этот тип гильзы переходят во всех случаях проектирования новых бутылочных патронов для стрелкового автоматического оружия.

Гильзы с кольцевым выступом, которым осуществляется фиксация патрона, в меньшей мере обладают недостатками двух разобранных типов гильз с их способами фиксации патрона, но широкого применения не получили ввиду наличия собственных недостатков — увеличенный вес, непригодность для прямой ленточной подачи патронов, необходимость приложения больших усилий при штамповке дна.

Применение гильз этого типа ограничивается патронами для малокалиберных автоматических пушек с магазинным питанием. Во избежание сцепления патронов в магазине высота выступа должна превосходить по величине возможное осевое перемещение патронов в магазине.

Вместо выступа на корпусе у гильз сравнительно больших размеров (патроны к мощным крупнокалиберным пулеметам и малокалиберным автоматическим пушкам) предпочтительнее иметь частично выступающий фланец, в значительной мере улучшающий технологичность конструкции гильзы и условия подачи патронов в автоматическом оружии.

9.4. РАЗМЕРЫ ЭЛЕМЕНТОВ ГИЛЬЗ

Длина дульца гильзы, обеспечивающая надежное крепление пули (снаряда), обычно назначается в пределах 1—1,25 калибра.

Толщина стенок дульца в силу особенностей изготовления цельнотянутых металлических гильз зависит от толщины стенок корпуса гильзы у ската, относительная величина которой для существующих гильз находится в пределах

$$m_{ск} = \frac{2t_{ск}}{d_{ск}} = 0{,}05 \div 0{,}1$$

при номинальных значениях толщины стенки и диаметра (рис. 98).

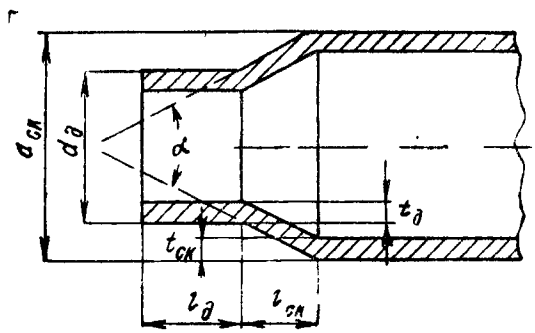


Рис. 98. Размеры дульца и ската гильзы

Из условия сохранения объема кольцевого участка толщина стенки гильзы при обжиме меняется согласно зависимости

$$t_i = \sqrt{\frac{d_{i-1}}{d_i}}\, t_{i-1},$$

где $i-1$ и i — смежные операции обжима.

Поэтому

$$t_д = \sqrt{\frac{d_{ск}}{d_д}}\, t_{ск},$$

где $d_д$, $t_д$ — диаметр и толщина стенки дульца гильзы;

$d_{ск}$, $t_{ск}$ — диаметр и толщина стенки на корпусе у ската гильзы.

Пренебрегая конусностью пуансона последней вытяжки на длине ската гильзы и учтя уменьшение толщины стенки обжатого дульца при калибровке расправочным стержнем с помощью коэффициента φ, получим

$$t_д = \varphi \sqrt{\frac{d_{ск}}{d_д}}\, t_{ск}.$$

Для существующих технологических процессов величина коэффициента φ находится в пределах 0,7—0,9.

На практике удобно пользоваться относительной величиной толщины стенки

$$m_д = \varphi \frac{d_{ск}}{d_д} \sqrt{\frac{d_{ск}}{d_д}}\, m_{ск}$$

или

$$m_д = \varphi\psi \sqrt{\psi}\, m_{ск}, \qquad (9.4.1)$$

Внутренний диаметр дульца определяется диаметром ведущей части пули $d_п$ и натягом посадки пули в дульце $q_{пс}$, относительная величина которого имеет выражение

$$q_{пс} = \frac{d_п - d_{0д}}{d_{0д}} = \frac{d_п}{d_{0д}} - 1,$$

откуда

$$d_{0д} = \frac{d_п}{1 + q_{пс}}. \qquad (9.4.2)$$

Максимальные значения относительного натяга (при номинальных значениях размеров) находятся обычно в пределах $q_{пс} = 0{,}006 \div 0{,}01$.

Наружный диаметр дульца зависит от величин внутреннего диаметра и толщины стенки

$$d_д = d_{0д} + 2t_д = \frac{d_п}{1 + q_{пс}} + 2t_д.$$

Поделив обе части равенства на $d_д$, получим

$$1 = \frac{d_п}{d_д(1 + q_{пс})} + m_д,$$

откуда

$$d_д = \frac{d_п}{(1 - m_д)(1 + q_{пс})}.$$

Таким образом, определив по выражению (9.4.1) значение $m_д$, можно определить диаметр $d_д$ и абсолютное значение толщины стенки гильзы

$$t_д = m_д \frac{d_д}{2}.$$

Допуск на внутренний диаметр дульца выбирается так, чтобы пуля находилась в нем хотя бы с минимальным натягом $q_{пс\,min}$.

Из выражения (9.4.2) получаем

$$d_{0д} + \delta d_{0д} = \frac{d_п - \delta d_п}{1 + q_{пс\ min}},$$

откуда, пренебрегая произведением $q_{min}\delta d_{0д}$, получаем

$$\delta d_{0д} = d_п - (1 + q_{пс\ min})\, d_{0д} - \delta d_п. \qquad (9.4.3)$$

Допуск на наружный диаметр дульца назначается в соответствии с допусками на толщину стенки и внутренний диаметр, т. е.

$$\delta d_д = \delta d_{0д} + 2\delta t_д.$$

Длина ската определяется углом его конусности α (см. рис. 97)

$$l_{ск} = \frac{1}{2}\,(d_{ск} - d_д)\operatorname{ctg}\frac{\alpha}{2},$$

величина которого у существующих гильз с фиксацией патрона скатом не выходит за пределы 30—50°. У гильз с фиксацией патрона в патроннике другими элементами (фланец, выступ) конусность ската обычно меньше, так как она в этих случаях не оказывает влияния на точность фиксации патрона.

Толщина дна гильзы выбирается из расчета, чтобы дном перекрывались вырезы на казенном срезе ствола под выбрасыватели, захваты и т. п. во избежание прорыва стенки гильзы при выстреле. Размеры извлекающих устройств и размеры вырезов на казенном срезе ствола обычно увеличиваются с увеличением диаметра донной части гильзы. Поэтому толщина дна гильзы должна увеличиваться пропорционально диаметру.

У гильз с невыступающим и частично выступающим фланцем толщина дна находится в пределах

$$h_{дн} = (0{,}40 \div 0{,}45)\, d_{дн},$$

где $d_{дн}$ — диаметр дна.

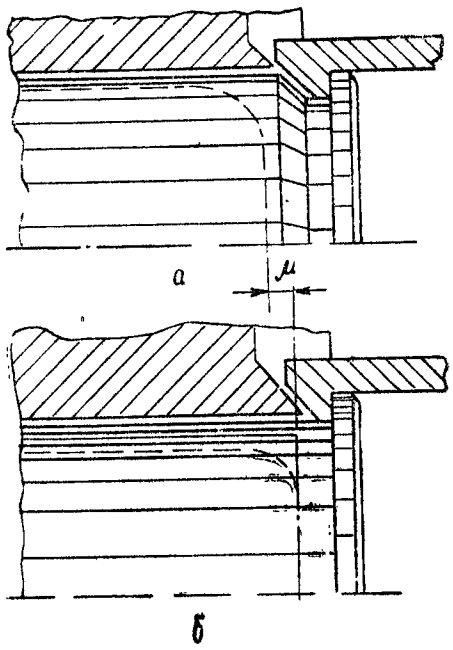
У гильз с выступающим фланцем толщина дна меньше, поскольку они меньше открываются вырезами под извлекающие устройства (рис. 99), и находится в пределах

$$h_{дн} = (0{,}32 \div 0{,}37)\, d_{дн}.$$

Форма внутренней поверхности дна делается обычно плоской с закруглением места перехода дна в стенки радиусом 1—2 мм для гильз нормального калибра и радиусом 3—4 мм для гильз крупного калибра. Любая иная форма внутренней поверхности дна гильзы вызывается чисто технологическими соображениями.

Форма наружной поверхности дна современных гильз делается плоской со знаками клеймения в виде углублений (рис. 100).

Всякие другие углубления и выступы на наружной поверхности дна (рис. 101) нежелательны во избежание больших местных напряжений смятия и деформации дна при выстреле, что способствует поперечным разрывам гильзы.



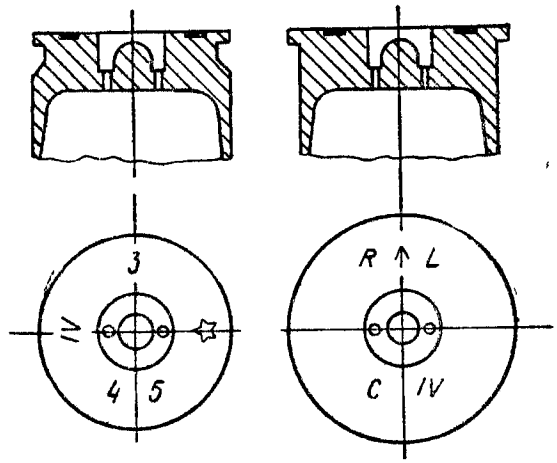


Рис. 100. Плоская форма наружной поверхности дна гильзы

Рис. 99. Определение толщины дна гильзы с выступающим (а) и невыступающим (б) фланцами

Диаметр капсюльного гнезда выбирается с таким расчетом, чтобы получить определенный натяг посадки капсюля

$$q_к = \frac{d_к - d_{к\,г}}{d_{к\,г}} = \frac{d_к}{d_{к\,г}} - 1,$$

откуда

$$d_{к\,г} = \frac{d_к}{1 + q_к},$$

где $d_к$ — диаметр капсюля;

$d_{к\,г}$ — диаметр капсюльного гнезда.

Величина натяга находится обычно в пределах $q_к = 0{,}020 \div 0{,}025$ при номинальных значениях диаметра гнезда и капсюля, а минимальный натяг — $q_{к\,min} = 0{,}002 \div 0{,}003$.

По аналогии с выражением (9.4.3) определяется допуск на диаметр капсюльного гнезда

$$\delta d_{к\,г} = d_к - (1 + q_{к\,min})\, d_{к\,г} - \delta d_к.$$

Глубина капсюльного гнезда определяется высотой капсюля и глубиной его посадки (рис. 102)

$$h_{к\,г\,min} = h_{к\,max} + e_{1min} + e_{2max},$$

где $h_к$ — высота капсюля.

Размер e_2 не зависит от глубины капсюльного гнезда, поэтому берется его максимальное значение.

Минимальный зазор между торцем колпачка капсюля и дном капсюльного гнезда (e_1) берется не менее радиуса сопряжения стенок гнезда с дном (обычно 0,2—0,3 мм), а максимальная глубина посадки капсюля (e_2) находится обычно в пределах от 0,2 до 0,4 мм, позволяющих осуществить крепление капсюля в гнезде кернением.

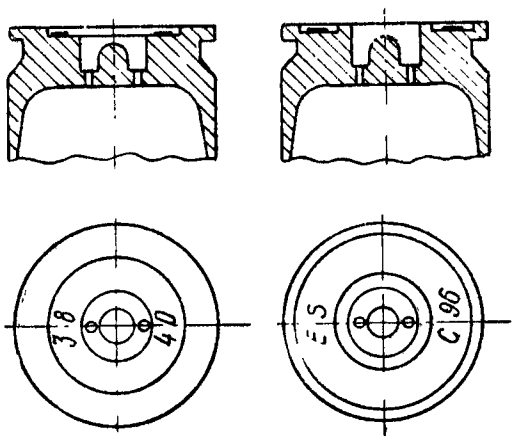


Рис. 101. Фигурная форма наружной поверхности дна гильзы

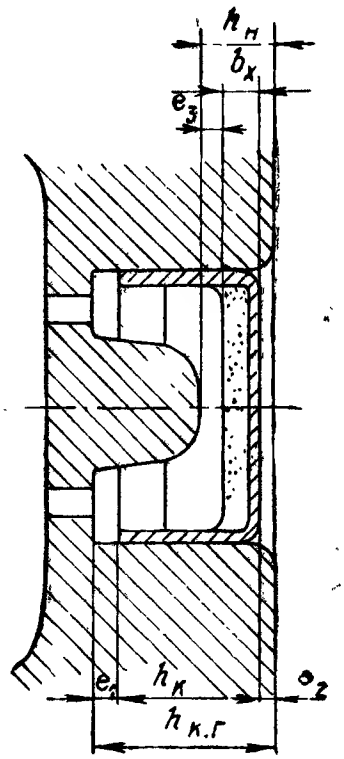


Рис. 102. Схема капсюльного гнезда с капсюлем

Для обеспечения вставки капсюля в гнездо по кромке капсюльного гнезда делается фаска 0,5 мм под углом 30°.

Высота наковальни, измеряемая от наружной поверхности дна гильзы, определяется аналогично глубине капсюльного гнезда

$$h_{н\,min} = b_{к\,max} + e_{3min} + e_{2max}.$$

Ударный состав капсюля обычно поджимается к наковальне и величина e_3 может находиться в пределах от +0,67 до —0,30 мм.

Диаметр наковальни берется обычно в пределах $d_н = (0{,}4 \div 0{,}5) d_{к\,г}$. Вершина наковальни делается сферической. Если применяется электрокапсюль-воспламенитель или капсюль с собственной наковальней, то наковальня в капсюльном гнезде не делается (рис. 103). В этом случае делается одно центральное запальное отверстие.

При наличии наковальни делается обычно два запальных отверстия (см. рис. 102). Встречаются иногда наклонные запальные отверстия (рис. 104, *а*), которые могут быть образованы сверлением за один переход, почему они и получили некоторое приме-

нение. Иногда наклонные затравочные отверстия делаются в наковальне (см. рис. 104, *б*), что позволяет иметь достаточно большим диаметр наковальни при сравнительно толстых стенках колпачка капсюля и небольшом диаметре капсюльного гнезда. С этой же целью иногда в наковальне делается одно центральное запальное отверстие (рис. 105). На вершине наковальни в этом случае делается поперечный паз, обеспечивающий выход продуктов разложения ударного состава капсюля.

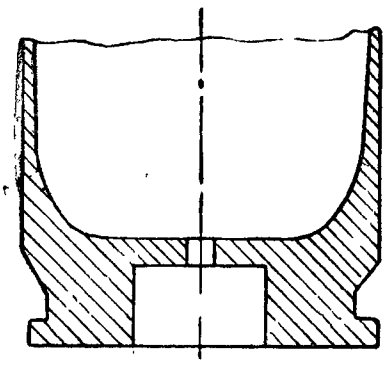
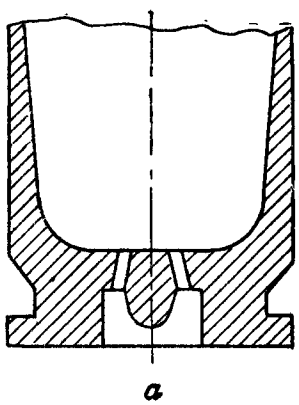


Рис. 103. Капсюльное гнездо без наковальни



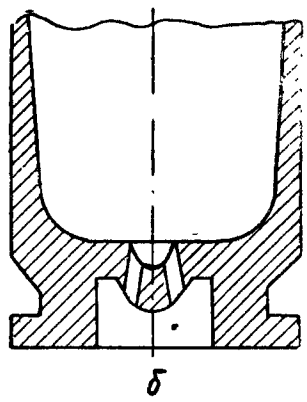


Рис. 104. Наклонные запальные отверстия в перегородке (а) и в наковальне (б)

Толщина перегородки определяется толщиной дна гильзы и глубиной капсюльного гнезда

$$h_{\text{п}} = h_{\text{дн}} - h_{\text{к г}}.$$

При оценке толщины перегородки необходимо учитывать способ образования запальных отверстий. Пробивка отверстий, как наиболее удобная в технологическом отношении, возможна при толщине перегородки, не превышающей диаметра отверстия.

Уменьшения толщины перегородки при заданной толщине дна можно достигнуть за счет образования выемки на внутренней поверхности дна гильзы. Во избежание так называемых провалов наковальни при разбитии капсюля толщина перегородки не должна быть меньше $0{,}2\ d_{\text{к г}}$.

Диаметр запальных отверстий зависит от диаметра капсюльного гнезда, характеризующего мощность применяемого капсюля, и от числа отверстий. При двух запальных отверстиях диаметр их находится в пределах

$$d_{\text{з о}} = (0{,}13 \div 0{,}18)\, d_{\text{к г}}.$$

При одном запальном отверстии его диаметр берется больше. Исходя из равенства площадей поперечного сечения одного и двух отверстий, для одного можно брать

$$d_{\text{з о}} = (0{,}20 \div 0{,}25)\, d_{\text{к г}}.$$

Размеры фланца (рис. 106) выбираются из условий прочного сопротивления усилиям, возникающим при экстракции и отражении гильзы. Гильза зажимается в патроннике главным образом на участках вблизи дна, поэтому усилия экстракции тем больше, чем больше диаметр гильзы у дна, в зависимости от значения которого и выбираются размеры фланца.

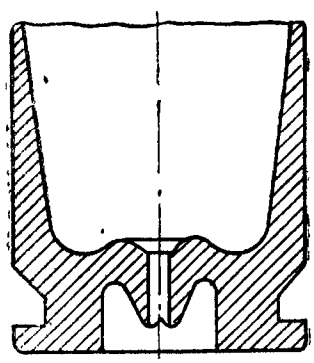


Рис. 105. Центральное запальное отверстие в наковальне

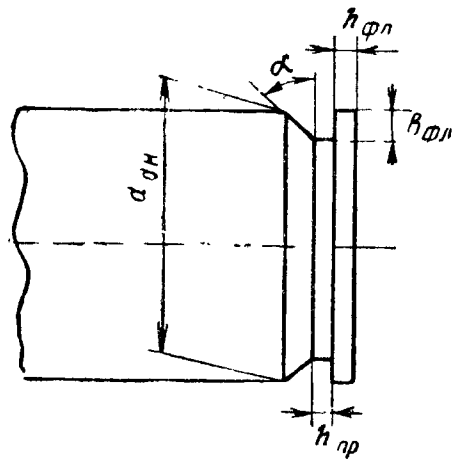


Рис. 106. Размеры фланца гильзы

Толщина фланца существующих гильз находится большей частью в пределах

$$h_{фл} = (0{,}09 \div 0{,}13)\, d_{дн},$$

где $d_{дн}$ — диаметр гильзы у фланца или кольцевой проточки.

Ширина фланца (глубина проточки) обычно берется в пределах

$$b_{фл} = (0{,}6 \div 0{,}9)\, h_{фл}.$$

Для обеспечения лучшей прочности фланца сопряжение его с поверхностью корпуса или дном проточки осуществляется по радиусу порядка 0,5 мм. Если фланец образуется кольцевой проточкой, то ширина последнего по дну берется

$$h_{пр} = (1{,}0 \div 1{,}5)\, h_{фл}.$$

Передняя стенка проточки делается наклонной под углом порядка 45°.

9.5. ОЧЕРТАНИЕ СТЕНОК КОРПУСА ГИЛЬЗ

Гильза при выстреле, находясь в объемном напряженном состоянии, испытывает осевые напряжения и деформации. В зависимости от профиля стенок в осевом сечении эти напряжения и деформации могут быть равномерно распределены по длине или сосредоточены на отдельных участках, следствием чего может

быть поперечный разрыв гильзы. Профиль стенок должен приближаться к равнопрочному профилю, наиболее благоприятному для обеспечения прочности гильзы.

В оружии с *запиранием затвора* гильза при выстреле удерживается затвором, а ее стенки растягиваются в осевом направлении в меру деформации деталей узла запирания и осадки дна гильзы, так как тормозящие гильзу силы превосходят сопротивление ее стенок. Силы трения гильзы о поверхность патронника и деформация деталей узла запирания меняются во времени в соответствии с изменением давления пороховых газов.

Сила трения на участке поверхности гильзы имеет выражение

$$R = \pi d_1 l f p_1,$$

где d_1 — наружный диаметр гильзы;

l — длина участка;

f — коэффициент трения;

$p_1 = p - \frac{2t}{d_1}\sigma_t$ — давление пороховых газов на наружной поверхности гильзы;

t — толщина стенки гильзы.

Учитывая, что гильза работает в области пластических тангенциальных деформаций, а сопротивление ее небольшое в сравнении с давлением газов, можно принять $\sigma_t = \sigma_т$. Тогда

$$R = \pi d_1 l f \left(p - \frac{2t}{d_1}\sigma_т\right), \qquad (9.5.1)$$

где $\sigma_т$ — предел текучести металла гильзы.

Прочное сопротивление стенок гильзы осевому напряжению может быть определено с учетом предела прочности металла $\sigma_в$:

$$Q_в = \pi d_1 t \sigma_в. \qquad (9.5.2)$$

Приравняв выражения (9.5.1) и (9.5.2) и введя относительную толщину стенки

$$m = \frac{2t}{d_1},$$

получим

$$l = \frac{m d_1 \sigma_в}{2f(p - m\sigma_т)}. \qquad (9.5.3)$$

Выражение (9.5.3) означает, что, если длина цилиндрической гильзы не превосходит величины l, то гильза может смещаться в патроннике без разрыва. Это выражение можно применить также к расчету профиля стенок гильзы, если учесть процесс изменения давления пороховых газов. Это можно сделать следующим образом.

Проведем оси координат и отложим на оси ординат относительную толщину стенки у дна m_r, которой задаемся (рис. 107). Она для большинства существующих гильз находится в пределах $m_r = 0{,}15 \div 0{,}20$.

Воспользовавшись выражением (9.5.3), определим длину участка l_{max} при максимальном давлении газов p_{max}. Очевидно, начальный участок прямой, соединяющей точки m_r и l_{max}, можно принять за профиль стенки равного сопротивления.

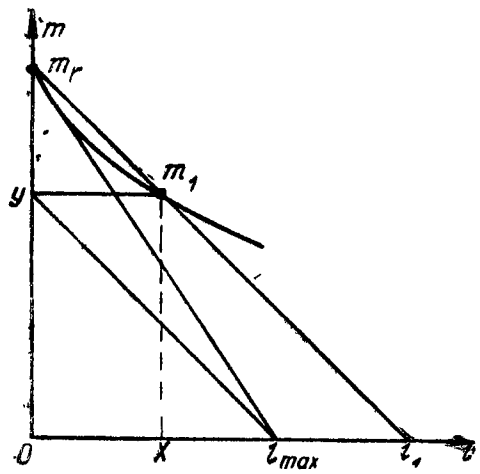


Рис. 107. Построение профиля стенки гильзы

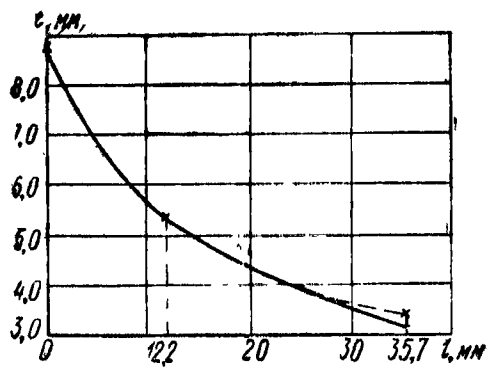


Рис. 108. Профиль стенки 7,62-мм винтовочной гильзы:
— — — действительный;
——— рассчитанный

Если теперь взять и отложить на оси абсцисс другое значение длины участка $l_1 > l_{max}$, то оно будет соответствовать другому давлению $p_1 < p_{max}$. Сохранив длину участка гильзы прежней (l_{max}) при новом давлении, получим новое значение толщины стенки y или m_1. Таким образом, чисто геометрическим построением получили другую точку профиля. Поступая аналогичным образом, можно получить третью точку и т. д. Указанные геометрические построения справедливы при условии, что механические характеристики металла и условия трения не меняются по длине гильзы. Уравнение кривой профиля можно получить из подобия треугольников $\triangle o l_1 m_r$ и $\triangle y m_1 m_r$ и с учетом выражения $l_1 = l_{max} + x$:

$$\frac{m_r - y}{x} = \frac{m_r}{l_{max} + x},$$

откуда

$$y = m_r \frac{l_{max}}{l_{max} + x}.$$

Учитывая, что

$$y = m = \frac{2t}{d} \quad \text{и} \quad m_r = \frac{2t_r}{d_r},$$

можно получить уравнение профиля, в которое входят абсолютные величины толщины стенок

$$t = \frac{d}{d_r} \cdot \frac{l_{max}}{l_{max} + x} t_r, \qquad (9.5.4)$$

где t и d — толщина стенки и диаметр гильзы на удалении x от сечения, с которого стенка сопрягается с дном одним радиусом r и которое имеет размеры t_r и d_r;

l_{max} — длина участка гильзы, определенная по выражению (9.5.3) с величинами m_r, d_r, p_{max}.

В качестве примера на рис. 108 показан профиль стенки 7,62-мм винтовочной гильзы, рассчитанный при $p_{max}=3000$ кгс/см^2, $\sigma_в=40$ кгс/мм^2, $\sigma_т=30$ кгс/мм^2 и $f=0{,}1$. Крестиками обозначены точки действительного профиля по чертежу гильзы. Рассчитанный при указанных условиях профиль практически совпадает с действительным профилем. В процессе длительной практики применения этой гильзы подобран оптимальный профиль стенок. В зависимости от величины «зеркального» зазора, деформации деталей узла запирания и других условий поперечный разрыв стенок этой гильзы может наблюдаться в любом месте по длине.

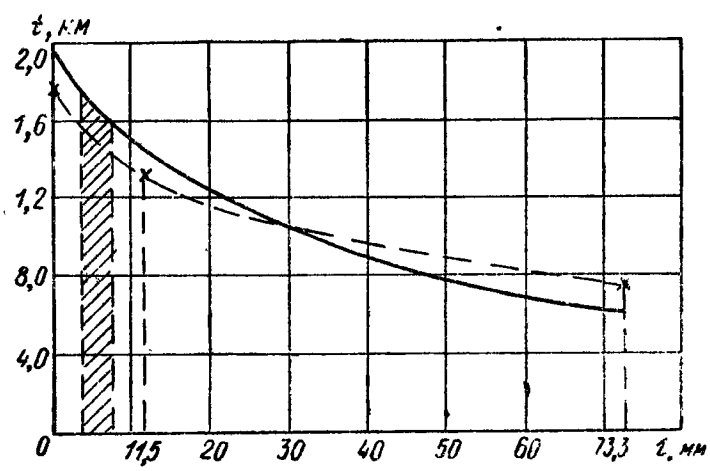


Рис. 109. Профиль стенки 12,7-мм гильзы: — — — действительный; ——— рассчитанный

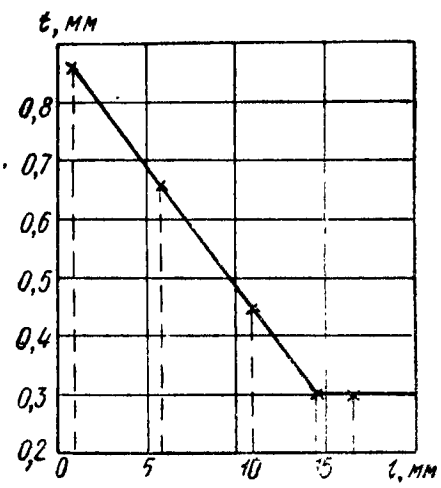


Рис. 110. Профиль стенки 7,62-мм пистолетной гильзы

На рис. 109 показан профиль стенки 12,7-мм гильзы, действительный и рассчитанный при $p_{max}=3200$ кгс/см^2, $\sigma_в=35$ кгс/мм^2, $\sigma_т=30$ кгс/мм^2 и $f=0{,}1$. Величины действительной толщины стенки в донной части меньше, а в верхней части больше расчетной. Действительный профиль не является, таким образом, равнопрочным. Об этом свидетельствует и практика: при большой деформации деталей узла запирания кольцевые растяжения и поперечные разрывы этой гильзы получаются преимущественно у дна. Зона наблюдающихся поперечных разрывов заштрихована.

В оружии *со свободным затвором* гильза смещается вместе с затвором в процессе нарастания давления газов. Прочность ее стенок всецело определяется силами трения. Профиль стенки гильзы здесь не имеет такого значения, как в системах с запиранием затвора. Зато для обеспечения прочности важно, чтобы сочетание длины стенки и толщины ее у дна соответствовало условиям стрельбы (максимальное давление газов, условия трения и характеристики прочности материала гильзы). Это соответствие устанавливается выражением (9.5.3), которое для рассматриваемого случая может быть записано так:

$$l_к = \frac{m_r d_r \sigma_в}{2f(p_{max} - m_r \sigma_т)}. \qquad (9.5.5)$$

Если длина стенок гильзы $l_к$ задана, то по выражению (9.5.5) подбирается толщина стенок; если задана толщина стенок, то длина их не должна превосходить величины, которая получается по выражению (9.5.5). Само же очертание стенок может быть наипростейшим, например, в виде прямой, что получается при вытяжке гильзы конусным пуансоном.

В качестве примера на рис. 110 показан профиль стенки 7,62-мм пистолетной гильзы, нормально работающей в оружии с отдачей свободного затвора.

Относительная величина допуска на толщину стенок гильз находится обычно в пределах $\frac{\delta t}{t} = 0{,}1 \div 0{,}2$.

9.6. КРЕПЛЕНИЕ КАПСЮЛЯ В КАПСЮЛЬНОМ ГНЕЗДЕ И ПУЛИ В ДУЛЬЦЕ ГИЛЬЗЫ

Одним из требований к патрону является прочное крепление капсюля в капсюльном гнезде и пули в дульце гильзы, исключающее их выпадение при стрельбе из скорострельных автоматических образцов оружия.

Необходимая прочность *крепления капсюля* обеспечивается различными способами кернения гильзы вокруг вставленного капсюля (рис. 111). В ряде случаев является достаточным крепление капсюля кернением в трех точках. Наибольшей надежностью отличается крепление капсюля кольцевым кернением вокруг капсюльного гнезда.

Необходимая прочность *крепления пули* обеспечивается кернением, завальцовкой или обжимом дульца гильзы в кольцевую канавку пули. В ряде случаев, например, у большинства пистолетных патронов, пуля не подвергается специальному креплению и достаточно надежно удерживается силами трения за счет посадки ее в дульце гильзы с некоторым натягом.

Простейшим способом специального крепления пули является кернение дульца гильзы обычно в трех точках (рис. 112, *а*). Такое

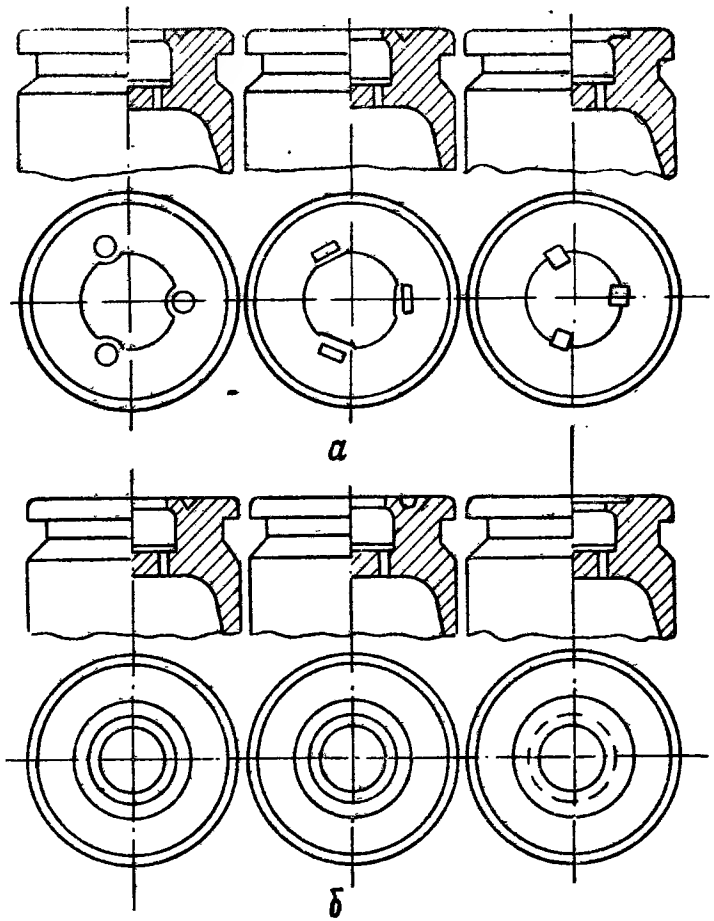


Рис. 111. Крепление капсюля кернением в трех точках (а) и по окружности капсюльного гнезда (б)

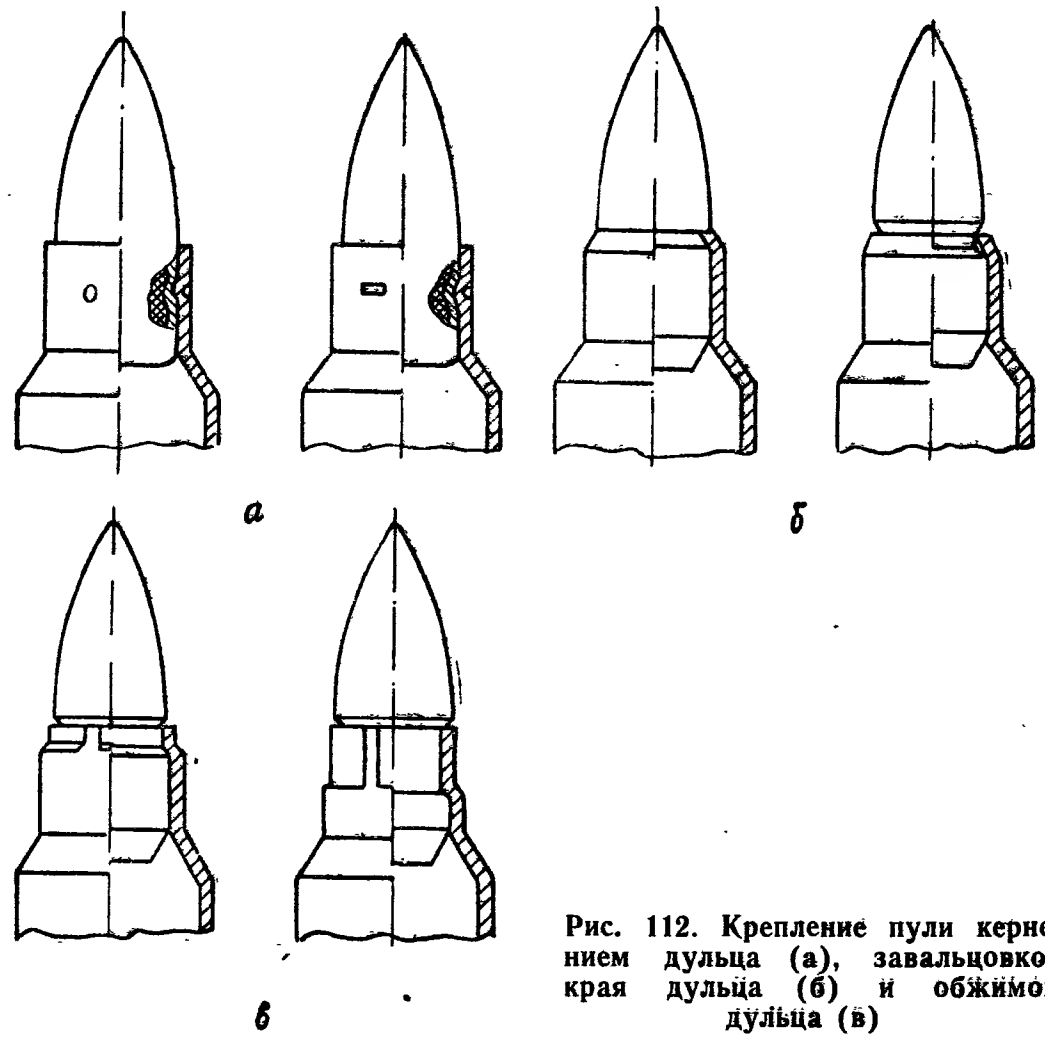


Рис. 112. Крепление пули кернением дульца (а), завальцовкой края дульца (б) и обжимом дульца (в)

крепление пули не позволяет иметь достаточно большое пулеизвлекающее усилие (более 20—40 кгс для винтовочных патронов) и не обеспечивает надежной работы автоматического оружия при двойной ленточной подаче патронов.

Более надежным способом крепления пули является завальцовка края дульца гильзы в кольцевую канавку пули (см. рис. 112, *б*). Этот способ крепления позволяет иметь большое пулеизвлекающее усилие (до 120 кгс для винтовочных патронов) и обеспечивает нормальную работу автоматического оружия с нормальным темпом стрельбы при всех типах и способах подачи патронов. Наряду с завальцовкой широко применяется крепление пули обжимом края дульца в кольцевую канавку пули (см. рис. 112, *в*).

При необходимости иметь еще более прочное крепление пули (обычно при больших темпах стрельбы, какими обладает зенитное и авиационное оружие, особенно когда оно имеет двойную ленточную подачу патронов) практикуется завальцовка или обжим дульца гильзы в две и даже три кольцевых канавки пули (снаряда).

Прибегать к чрезмерно прочному креплению пули без особой к тому необходимости не рекомендуется, так как с увеличением пулеизвлекающего усилия увеличивается максимальное давление газов и его разброс, ухудшаются условия обеспечения прочности и экстракции гильзы, создаются условия для деформации и увеличения рассеивания пуль.

При выборе способа крепления пули предпочтение отдается тому из них, который обеспечивает наибольшую работу пулеизвлекающего усилия при небольших величинах самого усилия. С этой точки зрения выгодно увеличивать ширину кольцевой канавки на пуле, куда обжимается или завальцовывается дульце гильзы (см. рис. 112, *в*).

9.7. МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГИЛЬЗ

К гильзовым материалам предъявляются следующие основные требования:

высокая пластичность, допускающая обработку давлением в холодном состоянии и деформацию гильзы при выстреле без нарушения прочности;

высокая прочность, необходимая для проведения операций вытяжки и обеспечения требуемой жесткости гильзы (патрона), имеющей относительно тонкие стенки;

склонность к упрочнению в процессе обработки давлением и высокая упругость, необходимая для обеспечения легкой экстракции гильзы из патронника после выстрела;

неизменяемость механических свойств со временем и стойкость против старения, самопроизвольного растрескивания;

высокая антикоррозийная стойкость, необходимая в процессе изготовления и хранения исходного материала, полуфабрикатов и готовых изделий;

простота термической обработки в процессе производства и стойкость против действия высокой температуры при выстреле;

химическая нейтральность по отношению к пороховому заряду;

хорошая обрабатываемость давлением в холодном состоянии, обеспечивающая высокую стойкость рабочего инструмента, и пригодность для механической обработки резанием.

Наиболее полно удовлетворяет перечисленным требованиям латунь марок Л68 и Л70, однако она является дорогим и дефицитным материалом, склонным к самопроизвольному растрескиванию, что усложняет длительное хранение патронов и требует специальных мер, позволяющих замедлить процесс растрескивания.

Более дешевым и недефицитным материалом, почти полностью избавленным от самопроизвольного растрескивания, является малоуглеродистая сталь, уступающая латуни в других отношениях. Сталь обладает меньшей упругостью, склонностью к коррозии, труднее обрабатывается давлением, меньше стойкость рабочего инструмента. Стальные гильзы не могут храниться без антикоррозийного покрытия.

В целях упрощения технологического процесса изготовления стальных гильз получила применение малоуглеродистая сталь, покрытая с одной или двух сторон томпаком, толщина слоя которого составляет 4—6% толщины основного стального слоя. Томпак служит своего рода твердой смазкой при вытяжке стальных гильз и антикоррозийным покрытием полуфабрикатов и готовой гильзы.

Биметалл является хорошим гильзовым материалом по сравнению с другим стальным исходным материалом, но применение его также связано с расходованием дорогого сплава — томпака. Часть этих расходов составляют безвозвратные потери в виде отходов при изготовлении заготовок для гильз, обрезков полуфабрикатов и т. п. Кроме того, биметалл обладает специфическим недостатком, ограничивающим его применение для изготовления крупных гильз, требующих больших усилий при обработке: при свертке заготовки в колпачок и вытяжке стенок гильзы большая часть томпака сгоняется матрицей с основного стального слоя на край полуфабриката.

При изготовлении гильз из биметалла не удается сохранить сплошность томпакового покрытия на всей поверхности готовой гильзы. У гильз с выступающим фланцем томпак совершенно снимается на корпусе у закраины в результате штамповки дна и на боковой поверхности фланца и торце дульца в результате их обточки. У гильз с невыступающим фланцем томпак снимается при образовании кольцевой проточки. В указанных местах сталь ока-

зывается не защищенной и подвергается интенсивной коррозии, что вынуждает наносить на них антикоррозийное покрытие.

С учетом достоинств и недостатков перечисленных гильзовых материалов наблюдается тенденция перехода на холоднокатаную малоуглеродистую сталь для изготовления гильз с последующим лаковым их покрытием.

Химический состав латуней Л68 и Л70, применяемых для изготовления гильз, приводится ниже.

Химический состав гильзовой латуни, %

	Л68	Л70
Медь	67—70	69—72
Цинк	33—30	31—28
Примеси (не более):		
железо	0,1	0,1
свинец	0,03	0,03
фосфор, мышьяк, олово	0,005	0,005
сера, сурьма, висмут	0,002	0,002

Латуни Л68 и Л70 обладают наиболее высокими характеристиками пластичности и сравнительно высокими характеристиками прочности (рис. 113): временное сопротивление $\sigma_в = 30 \div 35$ кгс/мм²; относительное удлинение $\delta = 50 \div 55\%$; твердость *HB* 50—60; поперечное сужение $\psi = 45 \div 50\%$.

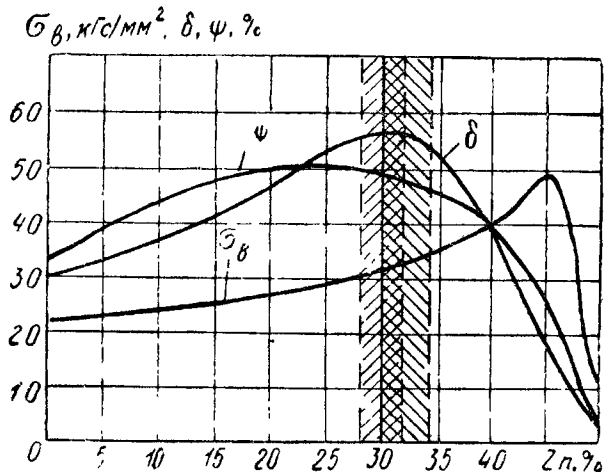


Рис. 113. Механические свойства латуни в зависимости от содержания цинка

Химический состав сталей, применяемых для изготовления гильз, приведен в табл. 23. Механические свойства гильзовой стали в исходном состоянии характеризуются следующими данными: $\sigma_в = 30 \div 40$ кгс/мм²; $\delta = 28 \div 34$ кгс/мм²; твердость *HRB* 50—60.

Механические свойства металла в готовой гильзе отличаются от свойств исходного материала в зависимости от пластической деформации и режимов термообработки (рис. 114, 115), составляющих основу технологических процессов изготовления гильз.

Определение механических характеристик металла готовых гильз стрелкового оружия путем растяжения образцов, вырезанных из стенок, затруднительно, поэтому удобной характеристикой является твердость, определяемая при малых нагрузках, например, твердость по Виккерсу с нагрузкой 5 кгс. Ее сравнительно

Таблица 23

Химический состав гильзовой стали, %

Составляющие сплава	Биметалл*		Холоднокатаная сталь	
Углерод	0,12—0,20	0,11	0,11	0,16—0,22
Марганец	0,35—0,60	0,35—0,90	0,35—0,55	0,25—0,50
Хром	0,15	0,15	0,15	0,20
Никель	0,30	0,30	0,30	0,20
Примеси (не более):				
кремний	0,08	0,08	0,06	0,13
медь	0,20	0,20	0,20	0,20
сера	0,04	0,04	0,04	0,03
фосфор	0,035	0,035	0,035	0,025

* Дан химический состав основного слоя металла (без плакировки)

легко определить. Твердость по Виккерсу может быть связана с другими характеристиками, что позволяет определять их косвенным путем.

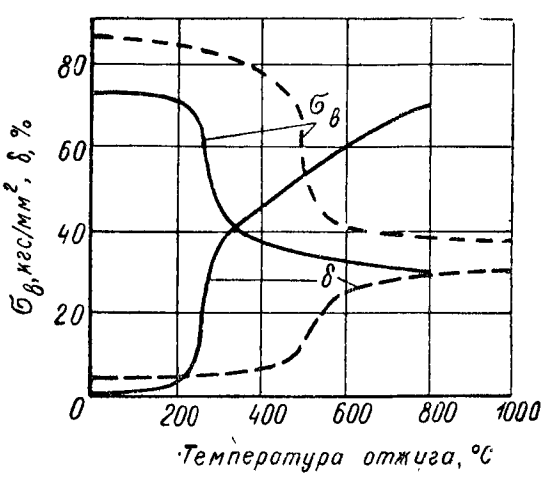


Рис. 114. Зависимости механических характеристик отожженной латуни Л68 (———) и отожженной гильзовой стали (— — —) от пластической деформации

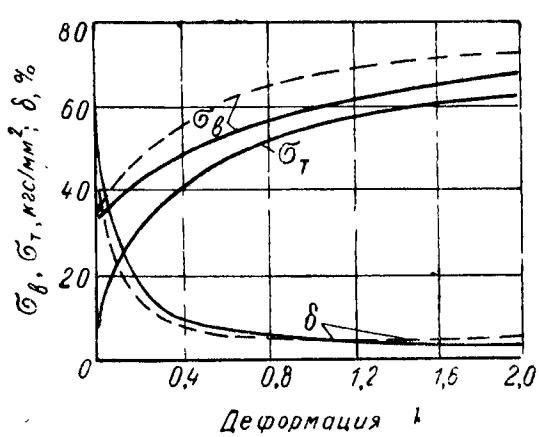


Рис. 115. Зависимости механических характеристик наклепанной латуни Л68 (———) и наклепанной гильзовой стали (— — —) от температуры отжига

В качестве примеров на рис. 116 приведены кривые распределения твердости по длине стенок трех различных гильз, показывающие существенную разницу в величинах и характере распределения механических характеристик в зависимости от особенностей конструкции и технологического процесса изготовления гильзы.

Понижение твердости дульца 20-мм гильзы (см. рис. 116, *а*) указывает на отжиг дульца, а повышение твердости стенок у дна — на процесс истечения металла в стенки при штамповке дна и упрочнения его в этом месте. У гильз с выступающим фланцем этого не наблюдается, так как излишний металл при штамповке выжимается не в стенки, а во фланец.

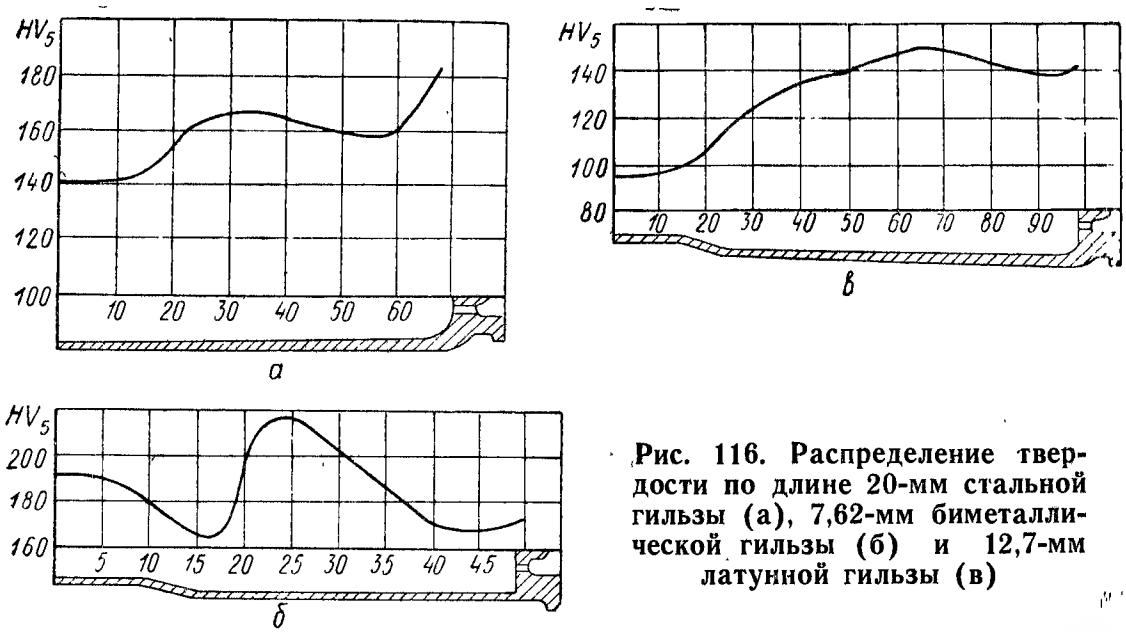


Рис. 116. Распределение твердости по длине 20-мм стальной гильзы (а), 7,62-мм биметаллической гильзы (б) и 12,7-мм латунной гильзы (в)

Для 7,62-мм винтовочной гильзы получается несколько иная картина (см. рис. 116, *б*) — повышение твердости на дульце. Это указывает на обжим дульца после отжига. У 12,7-мм гильзы (см. рис. 116, *в*) этого нет, что указывает на отжиг обжатого дульца.

Во всех случаях имеется участок, на котором твердость возрастает от дна к дульцу. Это результат вытяжки гильзы конусным пуансоном с соответствующим распределением пластической деформации.

Из рассмотренных примеров следует, что в процессе производства гильз создаются условия для получения желаемых величин и характера распределения механических характеристик металла по длине стенок гильз. Окончательно все это устанавливается в результате испытания гильз большим количеством выстрелов из существующих образцов оружия и анализа получаемых при этом дефектов (трещины, разрывы, тугая экстракция и т. п.)

9.8. ПЛАСТИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ ГИЛЬЗ В ПРОИЗВОДСТВЕ

Обработка металлических гильз, как и других элементов патронов, давлением в холодном состоянии сопровождается пластической деформацией и упрочнением металла. Пластическая деформация меняется в пределах поля допуска на размеры, следова-

тельно, меняются и механические характеристики прочности металла.

Величину пластической деформации определяют по относительному изменению размеров обрабатываемого тела. Допустим, тело, имеющее форму прямоугольного параллелепипеда (рис. 117) и размеры до обработки a, $в$, c, получает в результате обработки размеры A, B, C и сохраняет прямоугольную форму. Относительные величины главных деформаций выражаются тремя способами:

отношениями приращений размеров к начальным размерам

$$k_a = \frac{\Delta a}{a}, \quad k_b = \frac{\Delta b}{b}, \quad k_c = \frac{\Delta c}{c};$$

отношениями приращений размеров к конечным размерам

$$\lambda_a = \frac{\Delta a}{A}, \quad \lambda_b = \frac{\Delta b}{B}, \quad \lambda_c = \frac{\Delta c}{C};$$

(где $\Delta a = A - a$, $\Delta в = B - в$, $\Delta c = C - c$ — приращения размеров);

интегралами малых приращений размеров в каждый момент деформации, отнесенных к величинам размеров в тот же момент, эти интегралы в пределах приращений размеров выражаются натуральными логарифмами

$$\varphi_a = \ln \frac{A}{a}, \quad \varphi_b = \ln \frac{B}{b}, \quad \varphi_c = \ln \frac{C}{c}.$$

Деформации в последних выражениях называются действительными главными деформациями, в отличие от условных деформаций.

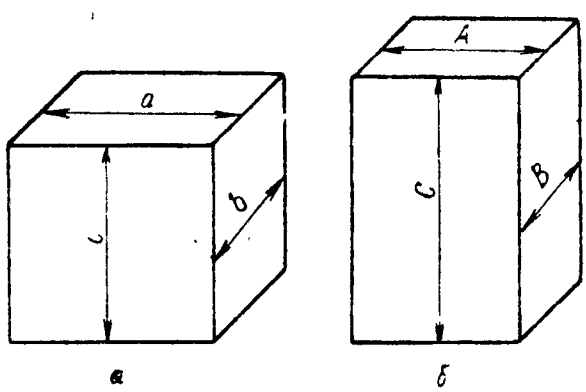


Рис. 117. Размеры прямоугольного тела до обработки (а) и после обработки (б)

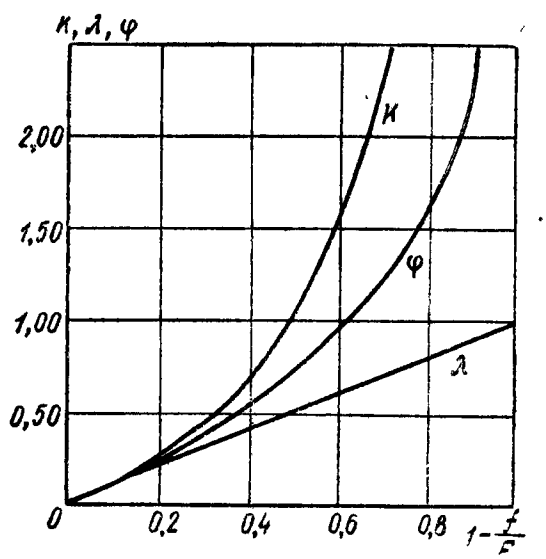


Рис. 118. Зависимости величин деформации от изменения площади поперечного сечения

Существует связь между главными деформациями, вытекающая из постоянства объема обрабатываемого тела: $a \cdot в \cdot c = A \cdot B \cdot C$.

Подставив в это выражение значения конечных размеров ($A=a+\Delta a$; $B=в+\Delta в$; $C=c+\Delta c$) или начальных размеров ($a=A-\Delta a$, $в=B-\Delta в$, $c=C-\Delta c$) или, наконец, логарифмируя выражение постоянства объема, можно получить такие соотношения:

$$(1+k_a)(1+k_b)(1+k_c)=1; \quad (1-\lambda_a)(1-\lambda_b)(1-\lambda_c)=1;$$

$$\varphi_a+\varphi_b+\varphi_c=0.$$

Согласно этим равенствам одна из главных деформаций должна иметь знак, противоположный знаку двух других деформаций. Она равна в последнем выражении по величине сумме двух других деформаций и называется максимальной главной деформацией. Ею и пользуются при расчете операций обработки металла давлением в холодном состоянии. Между максимальными главными деформациями в различных выражениях существуют зависимости (рис. 118):

$$k=\frac{\lambda}{1-\lambda}; \quad \varphi=\ln(1+k)=\ln\frac{1}{1-\lambda},$$

где f, F — площади поперечного сечения до и после обработки.

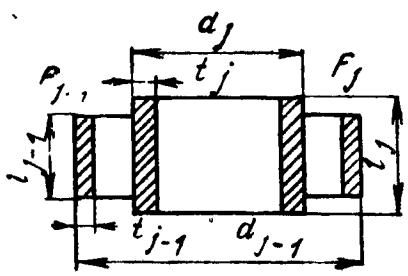


Рис 120. Схема обжима кольца

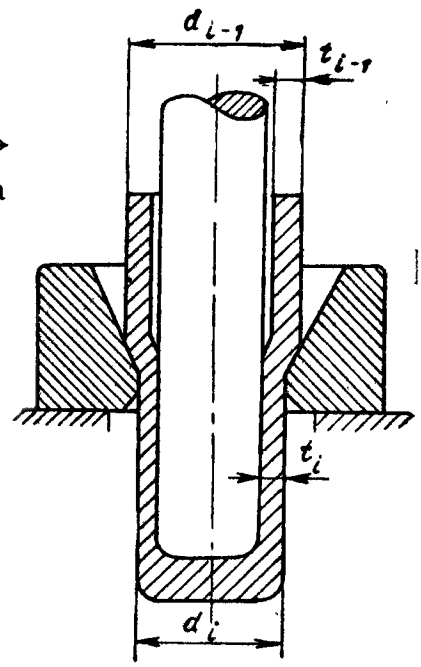


Рис. 119. Схема вытяжки

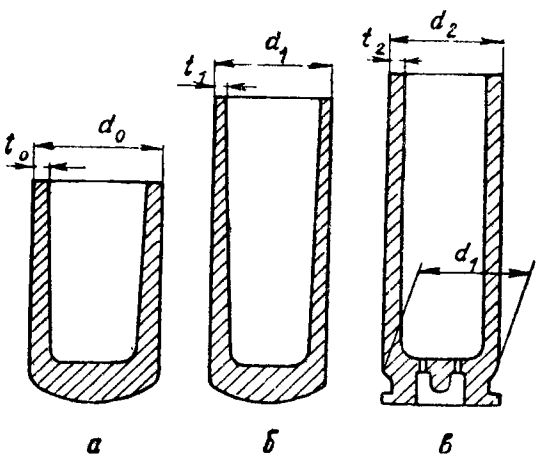


Рис. 121. Размеры поперечного сечения гильзы:
а — на последнем отжиге; *б* — на последней вытяжке; *в* — после обжима

Применительно к вытяжке максимальной главной деформацией является осевая (продольная) деформация (рис. 119), а применительно к обжиму — поперечная (тангенциальная) (рис. 120).

Взяв, например, условную пластическую деформацию в выражении для k, получим:

для вытяжки

$$k_i = \frac{l_i}{l_{i-1}} - 1 = \frac{F_{i-1}}{F_i} - 1 = \frac{(d_{i-1} - t_{i-1})\, t_{i-1}}{(d_i - t_i)\, t_i} - 1; \qquad (9.8.1)$$

для обжима стенок

$$|k_j| = \frac{d_{j-1}}{d_j} - 1, \qquad (9.8.2)$$

где F — площадь сечения;

l — длина полуфабриката.

Для двух операций (переходов) вытяжки можно записать:

$$1 + k_1 = \frac{F_0}{F_1}; \quad 1 + k_2 = \frac{F_1}{F_2},$$

общая пластическая деформация будет

$$1 + k = \frac{F_0}{F_2} = \frac{F_0}{F_1}\,\frac{F_1}{F_2} = (1 + k_1)(1 + k_2).$$

Таким же образом можно определить общую деформацию для вытяжки и обжима, используя выражения (9.8.1) и (9.8.2), где i и j — отличают размеры, полученные вытяжкой или обжимом,

$$1 + k = (1 + k_i)(1 + k_j) = \frac{(d_{i-1} - t_{i-1})\, t_{i-1}}{(d_i - t_i)\, t_i}\,\frac{d_{j-1}}{d_j}. \qquad (9.8.3)$$

Если взять для примера гильзы и проследить, как менялись размеры одного и того же поперечного сечения после термообработки (рис. 121), то на основании зависимости (9.8.3) можно записать

$$1 + k = \frac{(d_0 - t_0)\, t_0}{(d_1 - t_1)\, t_1}\,\frac{d_1}{d_2}. \qquad (9.8.4)$$

9.9. РАЗБРОС ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЧНОСТИ МЕТАЛЛА

Пользуясь известным правилом вычисления погрешностей, по выражению (9.8.4) получаем

$$\frac{\delta k}{1 + k} = \frac{\delta d_0 + \delta t_0}{d_0 - t_0} + \frac{\delta t_0}{t_0} + \frac{\delta d_1 + \delta t_1}{d_1 - t_1} + \frac{\delta t_1}{t_1} + \frac{\delta d_1}{d_1} + \frac{\delta d_2}{d_2}, \qquad (9.9.1)$$

где δd, δt — абсолютные погрешности размеров;

δk — результирующая погрешность пластической деформации.

Максимальные абсолютные погрешности размеров равны величинам допусков на размеры и направлены в металл. Это дает возможность заранее установить характер влияния погрешностей размеров (допусков) на величину пластической деформации. Если, например, диаметр d_0 и толщина стенки t_0 имеют допуски δd_0 и δt_0 и изготовлены по нижним предельным размерам $d_0 - \delta d_0$ и $t_0 - \delta t_0$, то пластическая деформация на последней операции вытяжки будет меньше, чем при номинальных значениях размеров d_0 и t_0. Наоборот, если размеры d_1 и t_1 получают нижние предельные значения $d_1 - \delta d_1$ и $t_1 - \delta t_1$, то пластическая деформация будет больше, чем при номинальных значениях размеров d_1 и t_1. Уменьшение d_1, приводящее к увеличению пластической деформации на последней операции вытяжки, сопровождается уменьшением деформации на операции обжима. Уменьшение диаметра d_2 приводит к увеличению деформации обжима. Учитывая это и принимая абсолютные погрешности равными величинам допусков на размеры, выражение (9.9.1) можно переписать в таком виде

$$k_2 - k_1 = (1 + k_1)\left(-\frac{\delta d_0 + \delta t_0}{d_0 - t_0} - \frac{\delta t_0}{t_0} + \frac{\delta d_1 + \delta t_1}{d_1 - t_1} + \frac{\delta t_1}{t_1} - \frac{\delta d_1}{d_1} + \frac{\delta d_2}{d_2}\right),$$

где k_1 — пластическая деформация при номинальных значениях размеров полуфабрикатов и гильзы;

k_2 — то же при нижних предельных значениях размеров.

Разность $k_2 - k_1$ будет наибольшей при $\delta d_0 = \delta t_0 = 0$. Примем еще $\frac{\delta d_1}{d_1 - t_1} = \frac{\delta d_1}{d_1}$, учитывая относительно малую величину t_1 по сравнению с d_1, тогда последнее выражение примет вид

$$k_2 - k_1 = (1 + k_1)\left(\frac{\delta t_1}{t_1}\,\frac{d_1}{d_1 - t_1} + \frac{\delta d_2}{d_2}\right). \qquad (9.9.2)$$

От размера t_1 целесообразно перейти к размеру t_2, для чего можно воспользоваться условием сохранения объема кольцевого элемента (см. рис. 120)

$$l_1 t_1 d_1 = l_2 t_2 d_2.$$

При обжиме длина кольца и толщина его стенки меняются практически одинаково, поэтому можно принять $\frac{l_1}{l_2} = \frac{t_1}{t_2}$ и условие сохранения объема записать в таком виде:

$$\frac{t_1^2}{t_2^2} = \frac{d_2}{d_1},$$

откуда

$$t_1 = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}}\, t_2 \quad \text{и} \quad \delta t_1 = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}}\, \delta t_2.$$

С учетом этого выражения (9.9.2) примет вид

$$k_2 - k_1 = (1 + k_1)\left(\frac{\delta t_2}{t_2}\,\frac{d_1}{d_1 - \sqrt{\frac{d_2}{d_1}}\, t_2} + \frac{\delta d_2}{d_2}\right), \qquad (9.9.3)$$

где d_2, t_2 — диаметр и толщина стенки готовой гильзы в рассматриваемом сечении;

δd_2, δt_2 — допуски на эти размеры;

d_1 — диаметр гильзы перед обжимом, равный наибольшему диаметру изделия (диаметр донной части гильзы).

Выражение (9.9.3) позволяет по величинам допусков определить возможное изменение величины пластической деформации и оценить возможное изменение механических характеристик прочности металла гильзы, оболочки и других металлических элементов патрона. Для этого нужно иметь графическую зависимость механических характеристик прочности данного металла от пластической деформации. Наоборот, задаваясь допустимым изменением механических характеристик прочности металла, следовательно, и изменением пластической деформации, можно назначить величины допусков на размеры, сообразуясь с возможностями обеспечения необходимой точности изготовления в массовом производстве.

ПРИМЕРЫ

Пример 9.1. Определить бутылочность 7,62-мм патрона обр. 1943 г.

Решение

Объем каморы заряжания с основной пулей (со стальным сердечником) $W_0 = 1{,}86$ см^3. Приведенная длина каморы

$$l_0 = \frac{W_0}{0{,}82 d^2} = \frac{1{,}86}{0{,}82 \cdot 0{,}762^2} = 3{,}92 \text{ см}.$$

Длина каморы заряжания равна длине патрона за вычетом длины пули и толщины дна гильзы

$$l_{км} = L - l_п - h_{дн} = 56{,}1 - 26{,}8 - 4{,}2 = 25{,}1 \text{ мм} = 2{,}51 \text{ см}.$$

По выражению (9.2.1) имеем

$$\psi = \sqrt{\frac{l_0}{l_{км}}} = \sqrt{\frac{3{,}92}{2{,}51}} = \sqrt{1{,}56} = 1{,}25.$$

Более простое решение:

Диаметр дульца патрона $d_д = 8{,}57$ мм.
Средний диаметр корпуса гильзы находим по ее чертежу

$$d_{ср} = \frac{10{,}07 + 11{,}35}{2} = 10{,}7 \text{ мм}.$$

По выражению (9.2.2) имеем тот же результат

$$\psi = \frac{10{,}7}{8{,}57} = 1{,}25.$$

Если бы пришлось коэффициент бутылочности для патрона обр. 1943 г. выбирать, то его следовало бы подсчитать по выражению (9.2.3):

$$\psi = 1{,}1 \sqrt[3]{\frac{l_о}{l_п}} = 1{,}1 \sqrt[3]{\frac{3{,}92}{2{,}68}} = 1{,}25,$$

с которым фактическое его значение находится в полном соответствии.

Пример 9.2. Рассчитать профиль стенки гильзы 7,62-мм патрона обр. 1943 г. при следующих условиях:

$$p_{max} = 28 \text{ кгс/мм}^2; \quad \sigma_в = 40 \text{ кгс/мм}^2; \quad \sigma_т = 30 \text{ кгс/мм}^2;$$

$$f = 0{,}1; \quad t_г = 0{,}95 \text{ мм}$$

(толщина стенки в 5 мм от наружной поверхности дна).

Решение

Относительная толщина стенки у дна

$$m_г = \frac{2t_г}{d_г} = \frac{2 \cdot 0{,}95}{11{,}35} = 0{,}167.$$

Длина прочного участка гильзы, соответствующая заданному давлению газов по выражению (9.5.5),

$$l_{max} = \frac{0{,}167 \cdot 11{,}35 \cdot 40}{2 \cdot 0{,}1\,(28 - 0{,}167 \cdot 30)} = 16{,}5 \text{ мм}.$$

Определим толщину стенки гильзы на расстоянии 3, 9, 17, 28 и 30 мм от сечения с толщиной стенки $t_г = 0{,}95$ мм, воспользовавшись выражением (9.5.4). Для этого выписываем из чертежа гильзы значения диаметра:

x, мм	3	9	17	28	30
d, мм	11,21	10,94	10,57	10,07	8,57

Для $x = 3$ мм имеем

$$t_3 = \frac{d_3}{d_г} \frac{l_{max}}{l_{max} + x} t_г = \frac{11{,}21}{11{,}35} \cdot \frac{16{,}5}{16{,}5 + 3} 0{,}95 = 0{,}79 \text{ мм}.$$

Аналогичным образом получаем $t_9 = 0{,}59$; $t_{17} = 0{,}44$; $t_{28} = 0{,}32$ и $t_{30} = 0{,}25$ мм.

Эти данные представлены на рис. 122. Там же точками показаны чертежные значения толщины стенки гильзы. Как видно, действительный профиль близок к равнопрочному, но не совпадает с ним. На участке 5—15 мм толщина стенки должна быть несколько больше.

Пример 9.3. Определить максимальное давление газов, при котором гильза 9-мм пистолетного патрона может функционировать без разрыва в системах со свободным затвором.

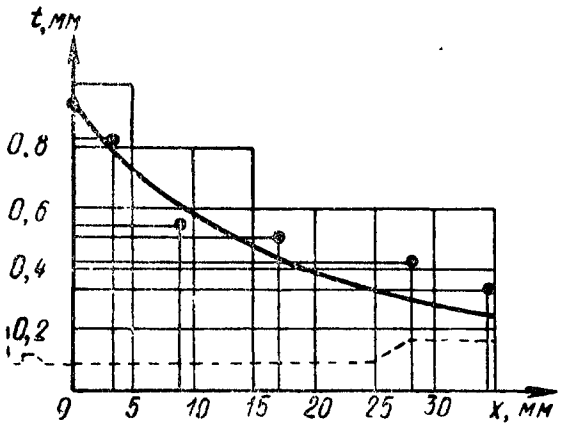


Рис. 122. Профиль стенки гильзы 7,62-мм патрона обр. 1943 г.

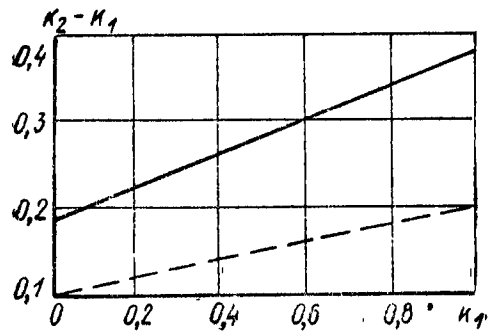


Рис. 123. Зависимость $k_2—k_1 = f(k_1)$ (— — — — при уменьшении допуска на толщину стенки гильзы в два раза)

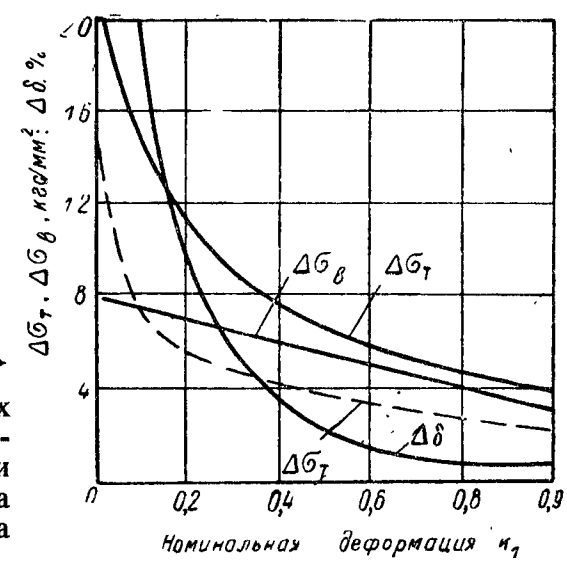


Рис. 124. Зависимости механических характеристик металла от номинальной пластической деформации (— — — — при уменьшении допуска на толщину стенки гильзы в два раза)

Решение

По выражению (9.5.6)

$$p_{max} = \frac{m_г d_г \sigma_в}{2 f l_к} + m_г \sigma_т$$

при $t_г = 0{,}86$ мм, $l_к = 14$ мм, $d_г = 9{,}9$ мм, $\sigma_в = 40$ кгс/мм², $\sigma_т = 30$ кгс/мм² и $f = 0{,}1$ имеем

$$p_{max} = \frac{0{,}174 \cdot 9{,}9 \cdot 40}{0{,}2 \cdot 14} + 0{,}174 \cdot 30 = 29{,}8 \text{ кгс/мм}^2.$$

Таким образом, пистолетная гильза может выдержать в два раза большее давление, а при давлении 14 кгс/мм^2 длина ее стенок может быть увеличена до 39 мм.

Пример 9.4. Определить пределы изменения механических характеристик металла в одном из сечений 14,5-мм латунной гильзы, вызванного неточностью ее изготовления, если в этом сечении $d_2=20{,}7$ мм, $t_2=1{,}15$ мм, $\delta d_2=0{,}15$ мм, $\delta t_2=0{,}20$ мм. Наибольший диаметр гильзы (у дна) $d_1=21{,}85$ мм

Решение

По формуле (9.9.3), подставляя исходные данные, получаем

$$k_2 - k_1 = 0{,}187\,(1 + k_1).$$

Эта (линейная) зависимость приведена на рис. 123 сплошной линией.

Пользуясь графиками зависимости механических характеристик металла от пластической деформации (см. рис. 114), определяем для каждого значения k_1 возможное изменение механических характеристик. Полученные данные приведены на рис. 124, из которого следует, что разброс механических характеристик металла увеличивается с увеличением допуска на толщину стенки и диаметр гильзы и уменьшается с увеличением номинальной пластической деформации k_1.

На рис. 123, 124 пунктирными линиями показан разброс значений пластической деформации предела текучести металла при уменьшении допуска на толщину стенки в два раза. Разброс $\sigma_т$, как видно из рис. 124, уменьшился существенно. Допуск на диаметр гильзы оказывает сравнительно небольшое влияние на изменение пластической деформации и механических характеристик металла.

Глава 10

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ГИЛЬЗ ПРИ СТРЕЛЬБЕ

10.1. УСЛОВИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИЛЬЗ

Перед выстрелом между стенками гильзы и поверхностью патронника, а также между дном гильзы и дном чашечки («зеркалом») затвора обычно имеются зазоры, необходимые для обеспечения подачи патрона в патронник и надежного запирания затвора.

При выстреле, в период нарастания давления пороховых газов, гильза увеличивается в диаметре, выбирает начальный диаметральный зазор и прижимается к поверхности патронника. Полное соприкосновение стенок гильзы с поверхностью патронника происходит сначала в наиболее слабых сечениях, обычно у ската, и распространяется по корпусу гильзы к ее дну по мере дальнейшего нарастания давления. Таким образом, гильза обеспечивает обтюрацию пороховых газов.

При дальнейшем нарастании давления пороховых газов возникает давление на поверхности патронника, и происходит совместная деформация стенок гильзы и патронника. Наибольшего значения деформации достигают в момент максимального давления пороховых газов. При этом деформация стенок патронника является упругой, а общая тангенциальная деформация стенок гильзы выходит за пределы упругой деформации.

Вследствие давления пороховых газов на дно гильзы последняя смещается к затвору и выбирает начальный «зеркальный» зазор. Начало смещения гильзы в осевом направлении определяется моментом начала движения пули и зависит от прочности крепления последней в дульце гильзы.

Если давление газов, необходимое для смещения пули в дульце гильзы (пулеизвлекающее давление), не превосходит тангенциального сопротивления стенок гильзы, то гильза смещается вначале свободно, а затем с нарастающими тормозящими силами трения ее стенок о поверхность патронника. Если пулеизвлекающее давление превосходит тангенциальное сопротивление стенок гильзы, то последняя с самого начала смещается при наличии сил трения.

Ввиду большой боковой поверхности гильзы сила трения возрастает быстрее, чем сила давления на дно, поэтому с возрастанием давления пороховых газов происходит последовательная остановка (фиксация) отдельных участков гильзы, а смещение дна становится возможным только за счет осевой деформации еще не зафиксированных участков гильзы.

После того как будет выбран зазор за дном гильзы и между деталями узла запирания, давление передается через дно гильзы на затвор и вызывает деформацию деталей узла запирания и самого дна, за счет чего в свою очередь увеличивается осевая деформация стенок гильзы. В зависимости от величин «зеркального» зазора и деформации деталей узла запирания осевая деформация стенок гильзы также может выходить из упругой зоны.

В процессе нарастания давления пороховых газов происходит нагрев стенок гильзы, но он не оказывает заметного влияния на условия работы гильзы в этот период. При спаде давления пороховых газов получается обратная картина. Стенки патронника, упругодеформированные, занимают свое исходное положение, стенки гильзы не доходят до своего исходного положения на величину остаточной деформации. Занимают свое исходное положение и детали узла запирания, также упругодеформированные. Гильза при этом смещается в патронник.

Так как при больших давлениях гильза еще прижата к поверхности патронника и испытывает большие силы трения, то смещаются сначала небольшие ее участки, примыкающие к дну, стенки претерпевают осевое сжатие. По мере спада давления и уменьшения сил трения смещающиеся участки увеличиваются и, наконец, смещается вся гильза.

В период спада давления газов нагрев стенок гильзы продолжается. За счет линейного расширения стенок гильзы вследствие нагрева в этот период уменьшается их возвратная упругая тангенциальная деформация.

В зависимости от сочетания остаточной и температурной деформаций стенок и смещения гильзы в патронник силами упругости деталей узла запирания она может оказаться к моменту спада давления газов свободной или зажатой с некоторым натягом. Величина натяга между стенками гильзы и патронника уменьшается по мере остывания гильзы вследствие передачи тепла стенкам патронника. Так работает гильза при стрельбе из неавтоматического оружия.

Стрельба из автоматического оружия отличается чрезвычайно малым промежутком времени от момента спада давления газов в канале ствола до начала извлечения гильзы из патронника (последнее часто начинается при наличии некоторого давления газов), интенсивным нагревом ствола, резкими перемещениями патрона при подаче в приемник и досылании в патронник, а также рез-

кими перемещениями гильзы при экстракции и отражении. Все это усложняет условия работы гильзы.

К моменту начала извлечения гильзы в автоматическом оружии она не успевает отдать тепло стенкам патронника, тем более что последние имеют обычно высокую температуру. Вследствие этого увеличиваются заклинивание гильзы в патроннике и усилие экстракции. Условия экстракции гильзы ухудшаются еще и потому, что с нагревом ствола уменьшается модуль упругости его материала и увеличивается упругая деформация стенок патронника.

Если гильза при выстреле получила значительную местную деформацию в виде кольцевого растяжения или надрыва (рис. 125, *а*), то вероятнее нарушение ее целостности при экстракции в автоматическом оружии вследствие большого усилия экстракции и больших инерционных сил, обусловленных краткровременностью приложения этого усилия.

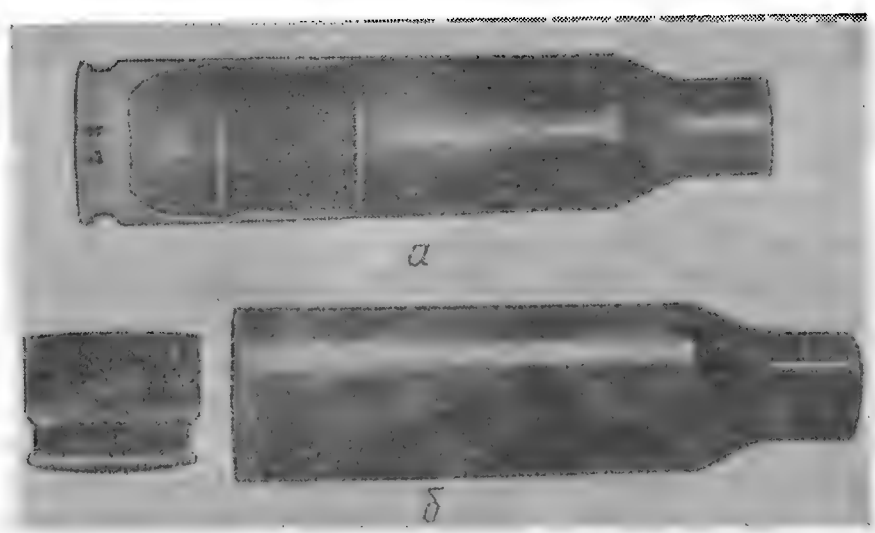


Рис. 125. Кольцевое растяжение стенок гильзы (а) и поперечный разрыв гильзы (б)

Резкие толчки и удары, испытываемые патронами в процессе подачи в автоматическом оружии, вызывают необходимость соблюдения достаточной жесткости гильзы, исключающей ее помятости, и надежного крепления пули и капсюля во избежание их выпадения при стрельбе.

В зависимости от условий, которые создаются для работы гильзы при стрельбе, могут быть два основных дефекта, вызывающих длительные задержки в работе оружия — поперечный разрыв гильзы (см. рис. 125, *б*) и тугая экстракция гильзы. При поперечном разрыве гильзы оторвавшаяся ее часть остается в патроннике, что требует применения специального инструмента (извлекателя) для ее удаления из патронника. Тугая экстракция

гильзы затрудняет открывание затвора при стрельбе из неавтоматического оружия или вызывает недоход подвижной системы автоматики в заднее положение и не обеспечивает подачу очередного патрона при стрельбе из автоматического оружия. В том и другом случаях возможен срыв зацепа выбрасывателя (извлекателя) с фланца, что потребует применения шомпола для удаления гильзы из патронника.

Если дефекты, которые могут иметь место при стрельбе, например, выпадение пули или капсюля-воспламенителя, могут быть сравнительно легко устранены путем соответствующего изменения технологии изготовления патронов, то обеспечить прочность гильзы и надежную ее экстракцию иногда технически трудно.

10.2. ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ПАТРОНА НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ГИЛЬЗ

На функционирование гильз оказывают влияние свойства патрона и оружия в совокупности и взаимной связи. Максимальное давление газов, например, как свойство патрона влияет на прочность и экстракцию гильзы в зависимости от жесткости деталей узла запирания в оружии, «зеркальный» зазор — в зависимости от массы затвора и так далее.

Если рассматривать отдельно свойства патрона, то можно указать на следующие факторы, оказывающие влияние на прочность и экстракцию гильзы:

максимальное давление пороховых газов;
характеристики упругости и пластичности металла гильзы;
толщина и профиль стенок гильзы;
конструкция и состояние металла дна гильзы;
условия трения гильзы в патроннике;
прочность крепления пули в дульце гильзы и др.

Максимальное давление пороховых газов является одним из основных факторов, определяющих работу гильзы при стрельбе. Чем оно больше, тем больше влияние на прочность и экстракцию гильз остальных дефектов.

Характерная картина влияния максимального давления газов на экстракцию гильзы показана на рис. 126: чем больше давление, тем меньше зазор между стенками гильзы и патронника после выстрела (конечный зазор); с увеличением давления минимальные значения зазора смещаются к дну гильзы; наибольшая разность конечных зазоров наблюдается непосредственно у дна, что свидетельствует о значительной его деформации.

Характеристики упругости и пластичности материала гильзы влияют на прочность и экстракцию гильз в зависимости от максимального давления газов и свойств оружия, главным образом от жесткости узла запирания.

Величины конечного зазора для двух латунных гильз, имеющих различные значения твердости, приведены на рис. 127, *а*.

Гильза с более высокой твердостью имеет большие значения конечного зазора.

Повышение характеристик упругости металла гильзы как эффективное средство улучшения экстракции приводит к поперечным разрывам гильзы при стрельбе из оружия с низкой жесткостью деталей узла запирания. На рис. 127, *б* показан такой случай. Более твердая гильза получила поперечный разрыв. Это является одним из немногих примеров в технике, когда для обеспечения прочности конструкции требуется понижать характеристики прочности (упругости) ее материала, поскольку прочность в данном случае определяется не сопротивлением (прочностью), а деформацией, пластичностью материала.

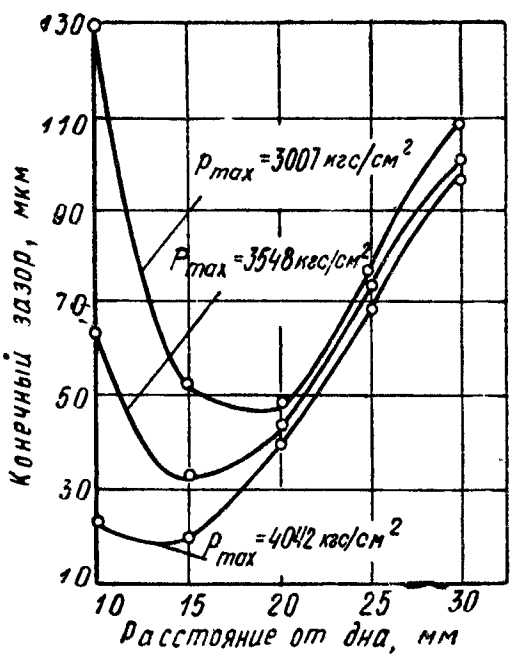


Рис. 126. Зависимость конечного зазора от максимального давления газов

Различные образцы оружия под один патрон обычно обладают различной упругостью узла запирания и другими особенностями. Поэтому для каждого образца оружия существуют свои наивыгоднейшие характеристики прочности металла стенок гильзы. Они устанавливаются опытным путем в процессе испытаний патронов.

Сказанное относится к гильзам, функционирующим в системах оружия с запиранием затвора. Для систем оружия со свободным затвором повышение характеристик прочности металла гильзы сопровождается повышением прочности и самой гильзы.

Некоторое значение для обеспечения экстракции гильз имеет модуль упругости гильзового материала. Условия экстракции гильз более благоприятны при меньшем модуле упругости (большей упругой деформации), что подтверждается опытом применения стальных и латунных гильз. Стальные гильзы более склонны к тугой экстракции по сравнению с латунными. Модуль упругости стали примерно в два раза больше, чем латуни.

Толщина стенок гильзы сама по себе не имеет столь существенного влияния на прочность и экстракцию гильзы, ее не выбирают из этих соображений. В целях получения наименьшего веса гильзы толщина стенок выбирается минимальной с учетом служебной прочности — достаточной сопротивляемости толчкам и ударам, возникающим в процессе подачи патронов, надежности крепления пули во избежание ее выпадения.

Что касается профиля стенок, то он оказывает существенное влияние на прочность и экстракцию гильзы. В зависимости от характера изменения толщины стенок осевая деформация гильзы при выстреле может быть более или менее равномерно распределена по длине стенок или сконцентрирована на отдельных коротких участках. В последнем случае создаются условия для поперечного разрыва гильзы.

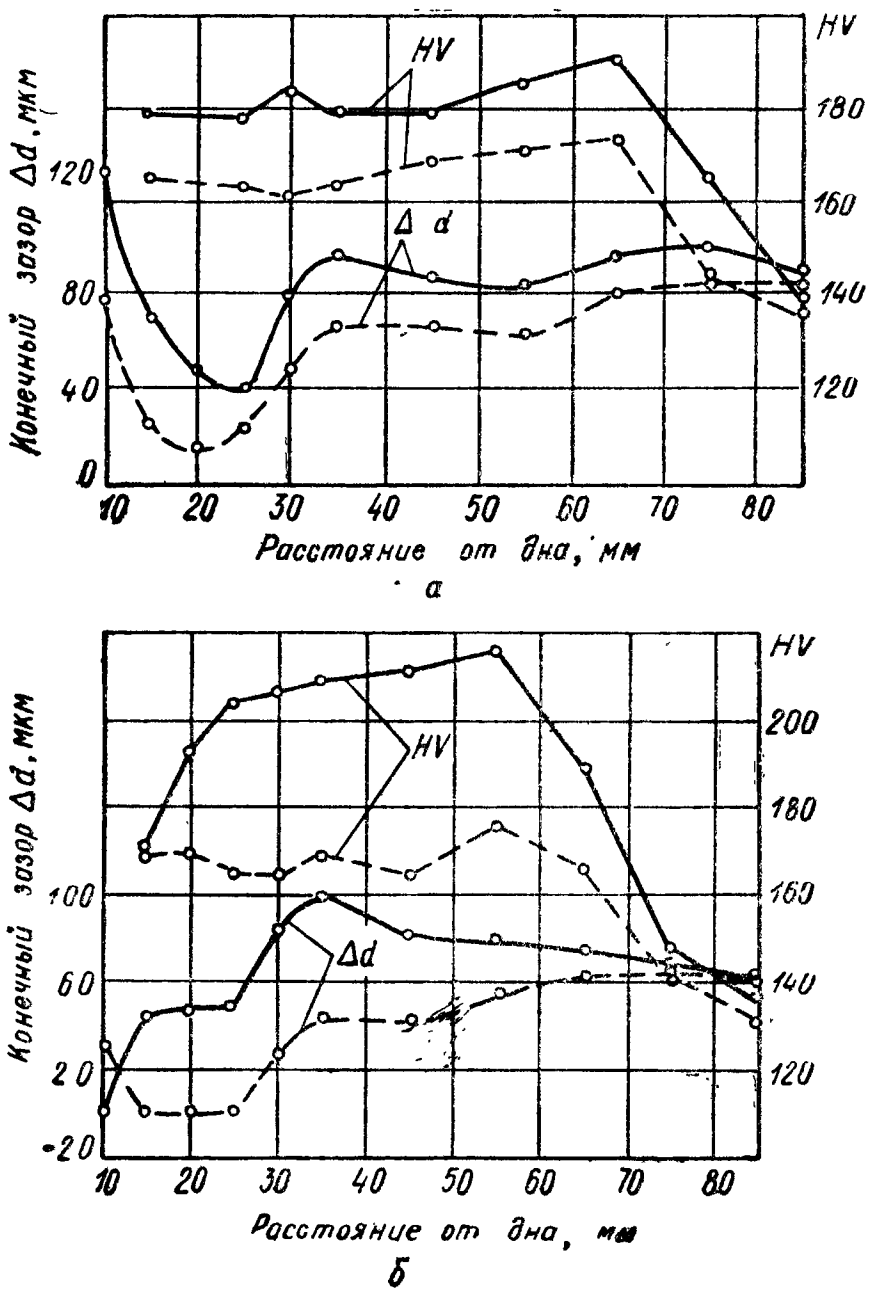


Рис. 127. Распределение твердости и конечного зазора по длине стенок двух латунных гильз:
а — без поперечного разрыва; *б* — с поперечным разрывом более твердой гильзы

Увеличение осевых напряжений в месте концентрации деформации сопровождается уменьшением конечных зазоров и ухудшением экстракции. На рис. 127 минимальным значениям конечного зазора как раз и соответствует концентрация осевой деформации. На исследуемой гильзе в этих местах получалась кольцевая шейка (см. рис. 125).

На величину осевых напряжений, прочность и экстракцию гильзы может оказывать существенное влияние конструкция ее дна и механические характеристики металла донной части. Наличие кольцевой проточки для зацепа выбрасывателя в сочетании с низкими механическими характеристиками прочности металла ослабляет сопротивление дна гильзы сжимающим нагрузкам. За счет пластической деформации сжатия дна происходит дополнительное осевое растяжение стенок и увеличение поперечных размеров донной части гильзы.

В связи с этим неблагоприятное влияние оказывает на функционирование гильзы такой, на первый взгляд, отдаленный фактор, как форма наружной поверхности ее дна. Различного рода углубления на поверхности дна для расположения выступающих знаков клеймения (см. рис. 101) уменьшают опорную поверхность и способствуют деформации дна. Близко расположенное к фланцу углубление ослабляет его. Для улучшения прочности и экстракции гильзы предпочтительно иметь плоскую наружную поверхность ее дна со знаками клеймения в виде углублений (см. рис. 100).

В зависимости от условий трения гильза останавливается силами трения в различные моменты времени, от чего зависит как сама величина осевого растяжения гильзы, так и характер ее распределения по длине стенок. Экстракция гильзы ухудшается еще тем, что для извлечения заклинившейся гильзы требуется приложить тем большее усилие, чем больше сила трения. Отсюда вытекает важность таких требований, как чистота обработки патронника и изыскание антикоррозийных покрытий гильзы, уменьшающих трение.

Значение условий трения для обеспечения прочности и экстракции гильзы подтверждается общеизвестным фактом: смазанная гильза не рвется при стрельбе в тех условиях, в которых рвется несмазанная гильза, и извлекается из патронника с меньшим усилием. Смазка улучшает прочность и экстракцию гильзы только в том случае, если она наносится на всю ее боковую поверхность и ее переднюю часть. Наличие смазки только в донной части приводит к разрыву гильзы, если он вообще возможен. Разрыв получается обычно на границе сухой и смазанной частей.

В качестве примера на рис. 128 приведены величины конечных зазоров для двух латунных гильз, одна из которых перед выстрелом была покрыта тонким слоем веретенного масла. Обычный минимум конечного зазора у смазанной гильзы не наблюдается,

что объясняется отсутствием концентрации осевого растяжения. Дно смазанной гильзы испытывало большее сжимающее усилие, в результате чего оно больше деформировалось и образовало меньший конечный зазор. Конечные зазоры у смазанной гильзы на всей длине стенок значительно больше, чем у несмазанной гильзы, которая при тех же условиях стрельбы получила кольцевое растяжение стенок (рис. 129) и характерную картину распределения конечных зазоров.

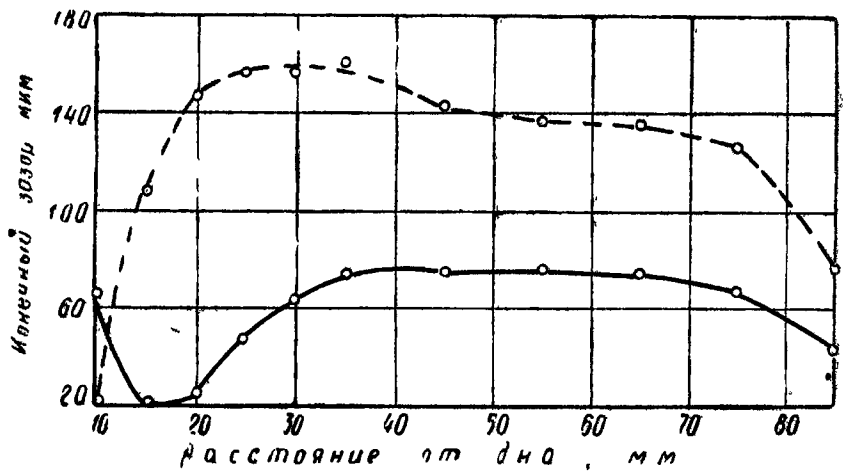


Рис. 128. Распределение конечных зазоров по длине стенок сухой (———) и смазанной (— — —) гильз

Различной прочности крепления пули в дульце гильзы к началу смещения последней в патроннике соответствует определенный уровень давления пороховых газов. При высоком давлении пороховых газов, выталкивающих пулю из дульца, гильза с самого начала смещается при наличии сил трения на ее боковой поверхности. В результате этого стенки гильзы оказываются больше растянутыми в осевом направлении к моменту максимального давления газов, чем при слабом креплении пули в дульце. Это снижает прочность гильзы и ухудшает ее экстракцию.

С увеличением прочности крепления пули в дульце гильзы увеличивается максимальное давление пороховых газов, поскольку увеличивается часть заряда, сгорающая в условиях постоянного объема. Для крупнозернистых порохов, применяемых в крупнокалиберных патронах, увеличение давления газов при значительном увеличении прочности крепления пули не столь существенно (порядка 2—3%). Для мелкозернистых порохов (автоматные и винтовочные патроны) оно может быть значительным (порядка 8—10%) и может оказать заметное влияние на функционирование гильзы. Поэтому не рекомендуется прибегать без особой необходимости к чрезмерно прочному креплению пули в дульце

гильзы. С этой же целью рекомендуется, наряду с нижним пределом, устанавливать верхний предел пулеизвлекающего усилия.

Большое влияние на экстракцию гильзы оказывает величина начального диаметрального зазора между поверхностями гильзы и патронника. Величины этого зазора обычно достаточно большие (0,8—1,0% от диаметра).

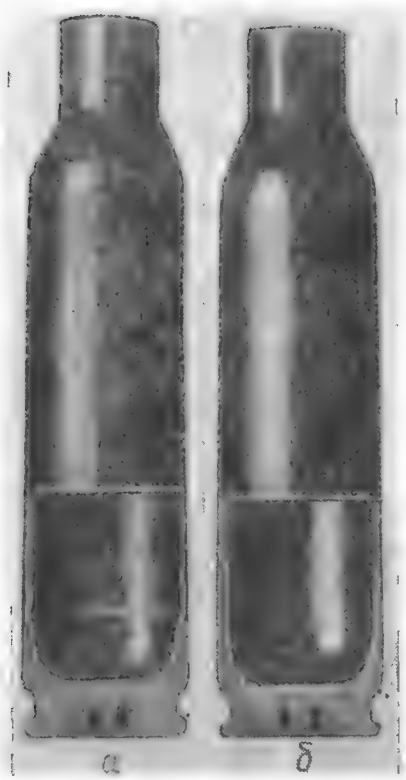


Рис. 129. Гильзы после стрельбы сухим (а) и смазанным (б) патронами

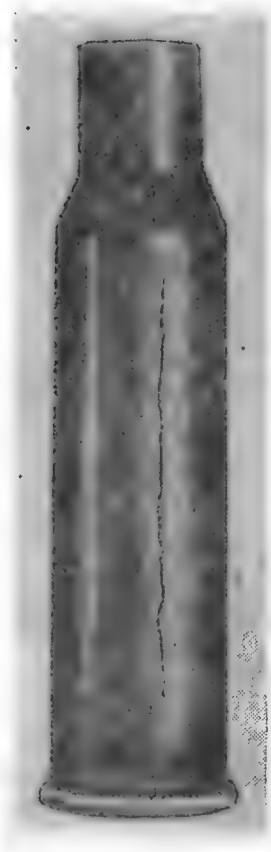


Рис. 130. Продольный разрыв гильзы

При наличии предварительного наклепа металла стенок гильзы дальнейшее увеличение зазора не приводит к существенному повышению упругости стенок вследствие незначительной интенсивности упрочнения. Зато большие начальные зазоры сопровождаются, вследствие взаимного влияния деформаций, увеличением осевых напряжений в стенках и в результате этого ухудшением прочности и экстракции гильзы. При больших начальных зазорах чаще появляются случаи продольного разрыва гильзы (рис. 130) и нарушения обтюрации гильзой пороховых газов. Отсюда следует, что нет необходимости отступать от установленных практикой значений начальных зазоров.

10.3. ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ОРУЖИЯ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ГИЛЬЗ

Особенно важно при проектировании оружия принять необходимые меры по обеспечению благоприятных условий функционирования гильз. Дело в том, что если оружие в силу особенностей своей конструкции обладает в какой-то мере склонностью к поперечным разрывам и тугой экстракции гильз, то наряду с низкой надежностью его работы существенно затрудняется производство патронов и самого оружия. На прочность и экстракцию гильз в этом случае оказывают влияние иногда незначительные технологические дефекты, которые в других условиях не имели бы никакого практического значения.

Примером тому может служить опыт эксплуатации 14,5-мм противотанкового ружья обр. 1941 г. (ПТРС). Оно обладало большой деформацией узла запирания. Сухая гильза при стрельбе из него не могла нормально функционировать, получала поперечные разрывы и давала тугую экстракцию. Партии патронов часто браковались по этим дефектам. Патроны укупоривались в смазанном виде. В 14,5-мм крупнокалиберном пулемете (КПВ), благодаря принятым мерам (максимальная жесткость узла запирания), гильза функционирует надежно многие годы.

На прочность и экстракцию гильз влияют следующие свойства оружия:

упругая деформация деталей узла запирания;

толщина стенок ствола в месте патронника;

величина «зеркального» зазора;

конструкция дна чашечки («зеркала») затвора;

момент отпирания затвора (раннее или позднее отпирание и др.).

Упругая деформация узла запирания оказывает решающее влияние на прочность и экстракцию гильз при достаточно больших давлениях пороховых газов. Она зависит от жесткости узла запирания, которая может быть охарактеризована коэффициентом жесткости

$$\eta' = \frac{Q}{\lambda},$$

где Q — усилие, действующее на «зеркало» затвора;

λ — соответствующая ему деформация узла.

Усилие нагружения узла запирания может быть создано в статических условиях путем специально организованного опыта или определено при выстреле. В последнем случае, при креплении оружия на стенде за ствол (на узел в этом случае действует наибольшее усилие) и исключении этим инерционных сил усилие может быть определено так:

$$Q = \frac{\pi d_0^2}{4} p - \frac{\pi (d_1 - d_0)}{4} \sigma_z = \frac{\pi d_1^2}{4} [b^2 p - (1 - b^2) \sigma_z],$$

где d_1 — диаметр патронника у казенного среза ствола;
d_0 — внутренний диаметр гильзы в месте сопряжения стенок с дном;
σ_z — осевое напряжение стенок гильзы в этом же сечении;
b — отношение внутреннего диаметра гильзы к наружному;
p — давление пороховых газов.

Практически удобно пользоваться удельной силой и удельным коэффициентом жесткости, приходящимися на единицу площади поперечного сечения патронника у казенного среза:

$$\eta = \frac{b^2 p - (1 - b^2)\sigma_z}{\lambda}.$$

У существующих образцов оружия жесткость узла запирания можно определить опытным путем, замеряя максимальное давление газов и максимальную деформацию λ_{max}. Осевое напряжение гильзы можно исключить или до минимума уменьшить. Ослабив, например, стенку гильзы у дна искусственным путем и получив поперечный ее разрыв, имеем $b = 1$ и

$$\eta = \frac{p_{max}}{\lambda_{max}}. \qquad (10.3.1)$$

При сравнительно высокой жесткости запирания осевые напряжения в стенках гильзы небольшие. Уменьшив их до предела путем смазывания патрона перед выстрелом и пренебрегая ими, получим

$$\eta = \frac{b^2 p_{max}}{\lambda_{max}}. \qquad (10.3.2)$$

Для существующих образцов оружия упругую деформацию узла запирания можно с достаточной точностью определить расчетом

$$\lambda_{max} = \frac{Q_{max}}{E} \sum \frac{l_i}{s_i},$$

где E — модуль упругости материала деталей узла;
l_i — длина детали узла или участка ее с площадью поперечного сечения s_i.

Принимая во внимание наихудший случай, когда оружие закреплено в установке стволом, и пренебрегая осевым сопротивлением гильзы, можно определить максимальную силу, действующую на узел,

$$Q_{max} = p_{max} \frac{\pi d_0^2}{4} = p_{max} \frac{\pi d_1^2}{4} \left(\frac{d_0}{d_1}\right)^2.$$

Тогда

$$\lambda_{max} = \frac{p_{max}}{E} \frac{\pi d_1^2}{4} \left(\frac{d_0}{d_1}\right)^2 \sum \frac{l_i}{s_i}.$$

Укажем на последствия низкой жесткости (большой деформации) деталей узла запирания.

1. С уменьшением жесткости узла запирания увеличиваются осевые растяжения стенок и появляются поперечные разрывы гильзы. Результаты обследования 14,5-мм латунных гильз после стрельбы с различными величинами деформации узла запирания приведены на рис. 131. При деформации 0,35 мм уже начинают появляться признаки кольцевого растяжения стенок наиболее твердых гильз, хорошо наблюдаемые через дульце. Начиная с деформации порядка 0,5 мм резко увеличивается количество гильз с признаками кольцевого растяжения и появляются гильзы с кольцевым растяжением стенок (с кольцевой канавкой по всему периметру). При деформации порядка 0,9 мм появляются поперечные разрывы наиболее твердых гильз.

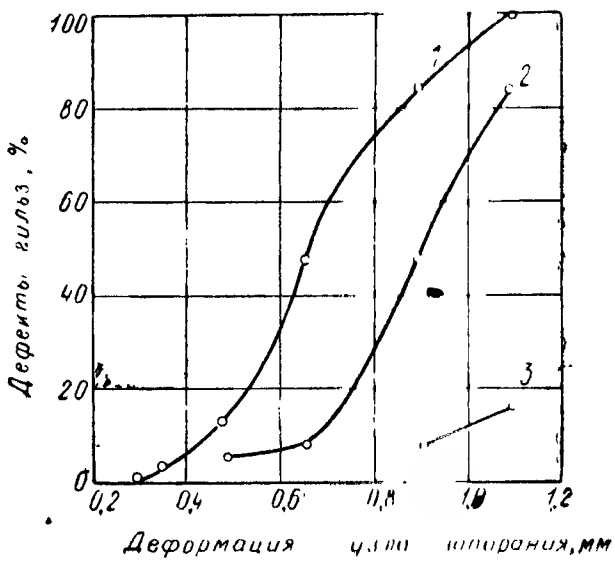


Рис. 131. Зависимость поперечных разрушений гильз при стрельбе от деформации узла запирания:
1 — все виды дефектов; *2* — растяжение и разрывы; *3* — разрывы

2. Низкая жесткость узла запирания в ряде случаев служит препятствием для улучшения экстракции гильзы путем повышения характеристик упругости металла ее стенок, поскольку при этом понижается пластичность и появляются поперечные разрывы гильз.

3. При большой деформации узла запирания резко ухудшается экстракция гильзы. Это происходит за счет осевых напряжений, уменьшающих конечный зазор, а также за счет смещения гильзы в конусный патронник силами упругости узла запирания при спаде давления пороховых газов. В качестве примера на рис. 132 показано влияние упругой деформации узла запирания на конечные зазоры и усилие экстракции 14,5-мм латунных гильз, где d_2 — диаметр ствола в месте патронника.

4. С увеличением деформации узла запирания увеличиваются заклинивание гильзы в патроннике, давление на опорных поверхностях запирающих деталей после спада давления пороховых газов в канале ствола и усилие, необходимое для отпирания затвора. Это увеличивает износ деталей, требует дополнительных затрат энергии для отпирания затвора и равносильно тугой экстракции гильзы. Подтверждением указанного явления может служить опыт стрельбы из систем оружия с отводом пороховых газов с перекрытым газоотводным отверстием. При достаточно большой дефор-

мации узла запирания затвор у таких систем не удается открыть после выстрела вручную, без применения какого-либо инструмента.

Толщина стенок ствола определяет при заданном давлении газов упругую деформацию патронника. При малых значениях толщины влияние ее на конечный зазор и экстракцию гильзы более заметно. Это видно из рис. 133 и выражения для тангенциальной деформации

$$\varepsilon_{t1} = \frac{2}{3}\,\frac{p_1}{E}\,\frac{2r_2^2 - r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} = \frac{2}{3}\,\frac{p_1}{E}\,\frac{2a^2+1}{a^2-1}, \qquad (10.3.3)$$

где p_1 — давление на стенку патронника;

r_1, r_2 — внутренний и наружный радиусы ствола;

$a = \frac{r_2}{r_1}$ — коэффициент.

Увеличение толщины стенок ствола ($a > 2{,}5 \div 3{,}0$) не имеет практического значения для улучшения экстракции гильз. Это в равной мере относится к стволам-моноблокам и скрепленным стволам, так как они деформируются при выстреле одинаково. Исключение составляет случай, когда при скреплении металл кожуха претерпевает пластическую деформацию. В этом случае скрепленный ствол таких же размеров имеет несколько большую жесткость и меньшую упругую деформацию, но не настолько, чтобы существенно влиять на экстракцию гильзы.

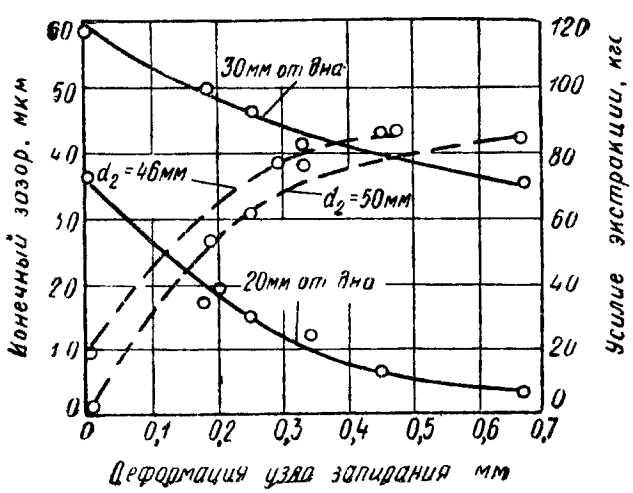


Рис. 132. Зависимости конечного зазора (———) и усилия экстракции (— — —) от деформации узла запирания

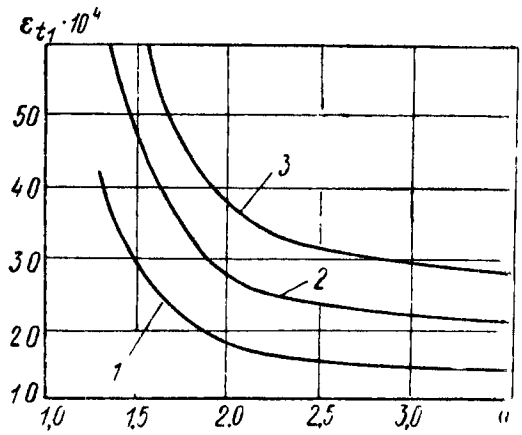


Рис. 133. Зависимость деформации патронника от соотношения поперечных размеров ствола:
1 — p_{max}=20 кгс/мм²; *2* — p_{max} =30 кгс/мм²; *3* — p_{max} =40 кгс/мм²

Величина «зеркального» зазора может оказать существенное влияние на прочность гильзы и частично на экстракцию в зависимости от условий смещения гильзы в патроннике. При свободном смещении гильзы, когда пулеизвлекающее усилие небольшое и другие сопротивления движению отсутствуют, величина зазора ок

вывает сравнительно небольшое влияние на прочность и экстракцию гильзы, что подтверждается опытными данными (рис. 134), где x_0 — величина «зеркального» зазора. Двигаясь свободно, гильза выбирает сравнительно большие зазоры прежде, чем ее стенки прижмутся к поверхности патронника и возникнут большие силы трения.

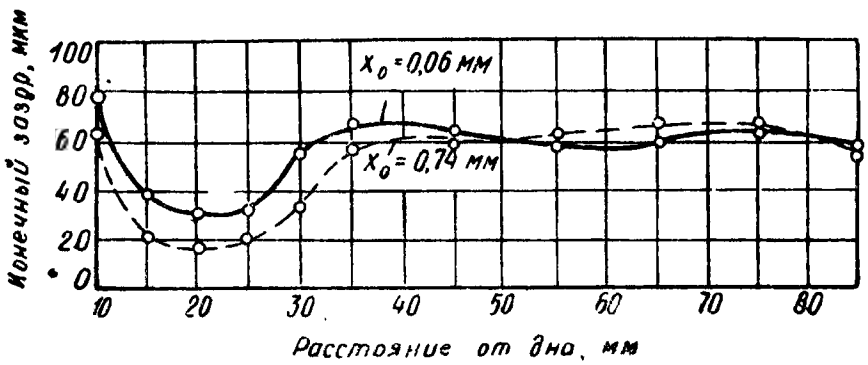


Рис. 134. Изменение конечного зазора при изменении «зеркального» зазора

Другое дело, если гильза встречает существенные сопротивления смещению назад. Наиболее характерный случай такого движения — это преодоление сил инерции тяжелого затвора и связанных с ним деталей в пределах «зеркального» зазора, когда он распределяется между деталями узла запирания. В этом случае гильза функционирует в начале движения, как в оружии со свободным затвором, и может получить поперечный разрыв при сравнительно небольшом «зеркальном» зазоре. Поэтому важно при конструировании оружия принимать необходимые меры к тому, чтобы обеспечить возможность свободного смещения гильзы в пределах «зеркального» зазора.

Конструкция дна чашечки затвора должна предусматривать минимальные вырезы для выбрасывателя и отражателя, чтобы обеспечить максимальную опорную поверхность для дна гильзы и этим уменьшить напряжение его смятия и деформацию, неблагоприятно влияющую на прочность гильзы.

10.4. СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЧНОСТИ И ЭКСТРАКЦИИ ГИЛЬЗ ПРИ БОЛЬШИХ ДАВЛЕНИЯХ ГАЗОВ

В предыдущем параграфе указывалось, что стенки гильзы при выстреле подвергаются осевому растяжению за счет деформации узла запирания и дна самой гильзы. С повышением давления пороховых газов эти деформации увеличиваются, появляется опасность поперечного разрыва гильзы. При давлении газов, превосходящем упругое сопротивление дна гильзы, поперечный разрыв ее неизбежен при сколь угодно высокой жесткости узла запирания.

С повышением давления пороховых газов, вызывающего значительные упругие деформации узла запирания и упругопластические деформации дна гильзы, наряду с появлением поперечных разрывов резко ухудшается экстракция гильзы, снижается надежность работы оружия. Это служит препятствием повышению давления пороховых газов более 3500—4000 кгс/см^2 при классической схеме патронов.

Для обеспечения нормальной работы оружия при таких высоких давлениях газов требуются искусственные способы компенсации деформации узла запирания и дна гильзы без нарушения целостности последней при извлечении из патронника. Ниже приведены такие способы, разработанные и экспериментально проверенные в свое время В. М. Кирилловым.

Гильза с кольцевой канавкой (рис. 135, *а*), расположенной недалеко от дна и образованной путем накатки обжатой гильзы или готового патрона, обеспечивает компенсацию деформации узла запирания за счет выправления канавки при выстреле.

Как показывает опыт, такая гильза сохраняет свою прочность и не получает характерного кольцевого растяжения стенок в тех условиях, в которых обычная гильза нормально функционировать не может — происходит ее поперечный рызрыв. Вместе с тем такая гильза легко экстрагируется из патронника после выстрела, что объясняется практическим отсутствием осевых растягивающих напряжений, ухудшающих экстракцию.

Гильза с кольцевой канавкой обладает одной особенностью: в месте канавки образуются остаточные внутренние напряжения. Это может приводить к самопроизвольному растрескиванию гильз, особенно латунных, при длительном хранении патронов. При кратковременном хранении патронов или специальном местном отжиге гильзы (в месте канавки) этого не происходит.

Составная гильза с подвижным поддоном (см. рис. 135, *б*) обеспечивает компенсацию деформации узла запирания за счет смещения поддона относительно корпуса гильзы при выстреле. Корпус гильзы может быть изготовлен из цилиндрической трубки, так как для подобной конструкции профиль осевого сечения стенок не имеет какого-либо значения для обеспечения прочности гильзы. Донная часть стенок корпуса завальцована в кольцевую канавку поддона, чем и обеспечивается прочность соединения составных частей гильзы.

Стенки корпуса гильзы прижимаются при выстреле к поверхности патронника и остаются неподвижными относительно ее, а поддон смещается на величину деформации узла запирания, распрaвляя частично завальцованные края стенок. Обтюрация пороховых газов обеспечивается тонкими стенками поддона. При такой конструкции гильзы имеется возможность резкого повышения характеристик прочности (упругости) металла стенок корпуса и поддона, что позволит обеспечить хорошую экстракцию гильзы.

Технология изготовления подобных гильз может существенно отличаться от существующих технологических процессов. Обычная, например, вытяжка цельнотянутых гильз из отдельных заготовок может быть заменена вытяжкой длинных цилиндрических трубок с последующей разрезкой их на заготовки нужной длины.

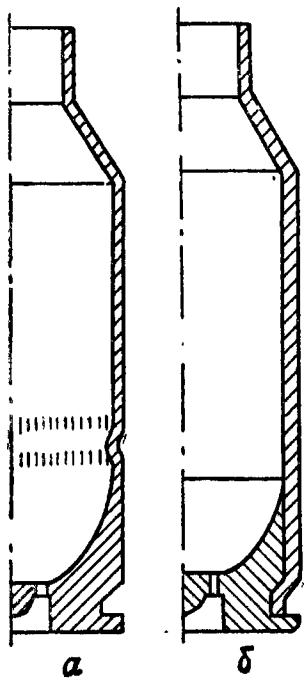


Рис. 135. Гильза с кольцевой канавкой (а) и составная гильза с подвижным поддоном (б)

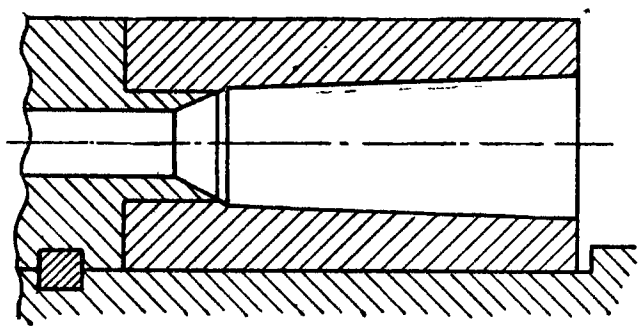


Рис. 136. Составной ствол с подвижным патронником

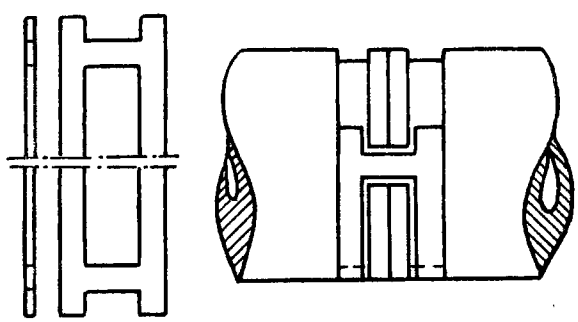


Рис. 137. Соединение частей ствола замком

Составной ствол с подвижным патронником (рис. 136) обеспечивает компенсацию деформации узла запирания за счет смещения патронника вместе с гильзой. При выстреле, по мере нарастания сил трения между стенками гильзы и патронника, последний смещается назад, для чего предусматривается необходимый зазор в ствольной коробке. Возвращение патронника в исходное положение при спаде давления пороховых газов происходит за счет возвратной деформации узла запирания силами трения гильзы о поверхность патронника.

Подобная конструкция ствола возможна только при достаточно большой бутылочности патрона. В противном случае на цилиндрическом участке сопряжения стенки ствола получаются недопустимо тонкими. При цилиндрическом патроне такая конструкция ствола вообще невозможна.

Самопроизвольное разъединение составных частей ствола при чистке и относительный поворот их вокруг продольной оси исключаются применением специального пластинчатого пружинящего замка (рис. 137).

Рассмотренные способы обеспечения прочности и экстракции гильз при больших давлениях газов резко снижают чувствительность оружия к изменениям «зеркального» зазора, что позволяет значительно снизить точность изготовления деталей узлов запирания. Опыт применения этих способов подтверждает высказанные положения о функционировании гильз при стрельбе.

10.5. ПОПЕРЕЧНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ГИЛЬЗ

На практике можно встретиться с таким парадоксальным явлением: гильза, подвергнутая при выстреле давлению пороховых газов изнутри, получает продольную вмятину снаружи. Такую вмятину можно часто наблюдать на гильзах артиллерийских орудий. Она получается также на смазанных гильзах патронов стрелкового оружия. Переобжимом орудийных гильз для повторного использования она не устраняется. Вмятина получается при локализации в начальном зазоре газа (воздуха) или смазки, которые при достижении определенного внутреннего давления (назовем его критическим $p_{1кр}$) перемещаются к наиболее слабому участку гильзы и производят на ней вмятину.

Предположим, что гильза опирается наружной поверхностью на газ или жидкость. Рассмотрим равновесие одной четверти вырезанного из гильзы кольца единичной длины в направлении оси y (рис. 138).

С внутренней стороны на эту часть кольца действует сила

$$Q_1 = r_1 p_1 = (r_2 - t) p_1 = r_2 p_1 - t p_1,$$

а снаружи — сила

$$Q_2 = r_2 p_2 = r_2 \left(p_1 - \frac{t}{r_2} \sigma_т \right) = r_2 p_1 - t\sigma_т.$$

Ввиду разных по величине давлений и поверхностей части кольца изнутри и снаружи существует разность указанных сил

$$\Delta Q = Q_2 - Q_1 = t(p_1 - \sigma_т).$$

При $p_1 < \sigma_т$ внутренняя сила Q_1 больше наружной силы Q_2, поперечная устойчивость гильзы обеспечена и она не может получить вмятину. Если $p_1 > \sigma_т$, то наружная сила больше внутренней и могут возникнуть условия, при которых поперечная устойчивость гильзы будет нарушена, на ней возникнет вмятина.

Положительной разности сил ΔQ соответствует избыточное на

ружное давление p_2', которое можно рассматривать как наружное давление при отсутствии давления внутреннего. При этом

$$r_2 p_2' = \Delta Q = t(p_1 - \sigma_т),$$

откуда

$$p_2' = \frac{t}{r_2}(p_1 - \sigma_т).$$

Если это давление соответствует началу деформации гильзы снаружи, его можно назвать критическим, как и внутреннее давление, и записать

$$p_{2кр}' = \frac{t}{r_2}(p_{1кр} - \sigma_т). \qquad (10.5.1)$$

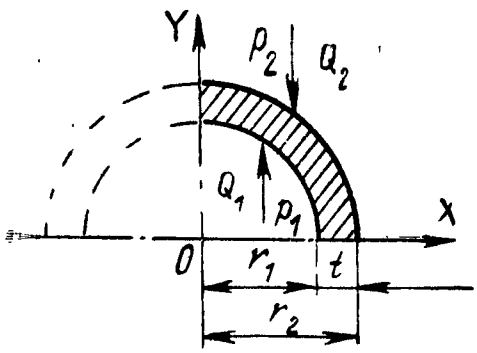


Рис. 138. Элемент кольцевого участка гильзы единичной длины

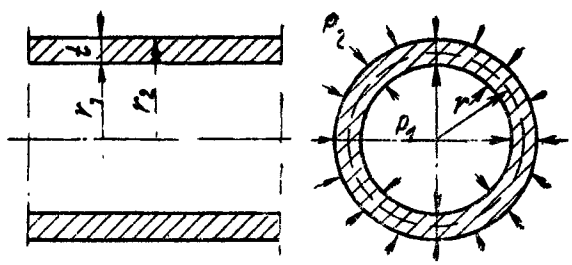


Рис. 139. Кольцевой участок трубы единичной длины

Для случая, когда окружность кольца, вырезанного из трубки (рис. 139), начинает приобретать эллиптическую форму (наиболее характерный случай потери устойчивости), в курсах сопротивления материалов дается следующее выражение для критического давления

$$p_{2кр} = \frac{3EJ}{r^3}, \qquad (10.5.2)$$

где E — модуль упругости материала трубы;

J — момент инерции площади сечения кольца единичной длины;

r — радиус осевой линии.

Радиус осевой линии для трубы с тонкими стенками, какой является гильза, можно заменить наружным радиусом r_2. Для прямоугольного сечения единичной длины

$$J = \frac{t^3}{12}.$$

С учетом этого выражение (10.5.2) примет вид

$$p_{2кр} = \frac{Et^3}{4r_2^3}. \qquad (10.5.3)$$

Оно справедливо при условии, что наружное давление вызывает тангенциальные напряжения в стенке трубы, не превосходящие предела пропорциональности, т. е. при условии

$$p_{2кр} \leqslant \frac{t}{r_2}\sigma_{пц}.$$

Если это условие не соблюдается, то получаются завышенные результаты расчетов, и следует пользоваться другим выражением

$$p_{2кр} = \frac{t}{r_2}\,\frac{\sigma_т}{1+4\dfrac{\sigma_т}{E}\dfrac{r_2^2}{t^2}}. \qquad (10.5.4)$$

Если теперь принять $p_{2\,кр}=p'_{2\,кр}$ и подставить выражения (10.5.3) и (10.5.4) в выражение (10.5.1), переписав его относительно $p_{1\,кр}$, то получим:

$$p_{1кр} = \frac{Et}{4r_2^2} + \sigma_т; \qquad (10.5.5)$$

$$p_{1кр} = \frac{\sigma_т}{1+4\dfrac{\sigma_т}{E}\dfrac{r_2^2}{t^2}} + \sigma_т.$$

В данном случае критическим является не наружное давление, а внутреннее. Если давление газов превосходит критическое, то и возможны вмятины на гильзах.

10.6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПРОЧНОСТИ И ЭКСТРАКЦИИ ГИЛЬЗ

Ввиду сложности функционирования гильз не удается достаточно полно и точно теоретически исследовать условия их прочности и экстракции. Поэтому придается большое значение экспериментальному исследованию. На основе анализа экспериментального материала удается решать практические вопросы проектирования образцов оружия и патронов, а также технологии их изготовления.

Применение для экспериментального исследования условий прочности и экстракции гильз существующих образцов оружия не позволяет менять основные параметры оружия и приемлемо лишь для испытания патронов большим количеством выстрелов. Поэтому для проведения экспериментов требуется специальный образец оружия с переменными параметрами.

Специальный образец оружия для исследования прочности и экстракции гильз в условиях одиночных выстрелов должен обладать возможностью:

изменения жесткости и замера упругой деформации узла запирания до величин, обеспечивающих поперечный разрыв гильзы;

изменения и замера величин «зеркального» зазора с фиксацией их расположения непосредственно за дном гильзы и за затвором;

изменения веса затвора и связанных с ним деталей;

изменения толщины стенок ствола в месте расположения патронника и замера их упругой деформации;

измерения давления пороховых газов (хотя бы максимального) в канале ствола;

измерения величин начального и конечного зазоров между стенками гильзы и патронника;

измерения усилия экстракции гильзы.

В качестве дополнительных требований можно указать:

автоматическое отпирание и открывание затвора;

регулирование момента отпирания затвора, включая моменты наличия давления газов в канале ствола;

автоматическую запись усилия экстракции и пути движения затвора во времени.

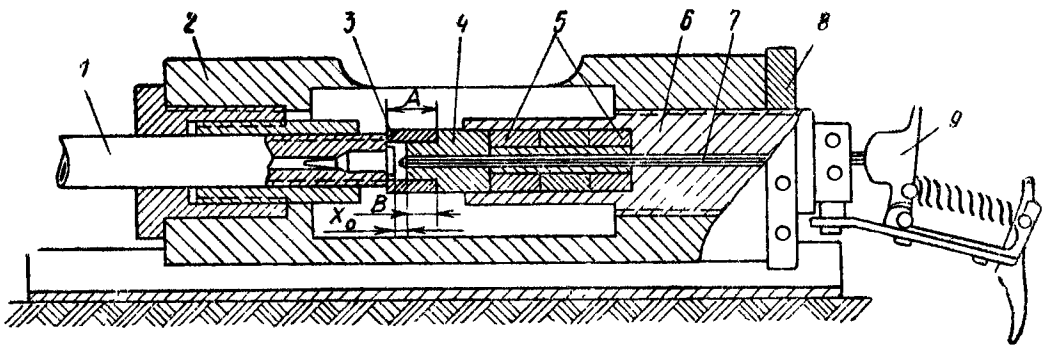


Рис. 140. Схема установки для исследования прочности и экстракции гильз:

1 — ствол; *2* — ствольная коробка; *3* — распорное кольцо; *4* — затвор; *5* — упругие элементы; *6* — корпус затвора; *7* — ударник; *8* — контргайка; *9* — ударно-спусковой механизм

Специальный образец оружия (установка), удовлетворяющий перечисленным требованиям, позволил бы изменять в широких пределах условия функционирования гильз и устанавливать приемлемые параметры оружия и патрона, обеспечивающие надежную работу реального оружия в реальных условиях его эксплуатации. Это могло бы оказать существенную помощь конструкторам оружия и технологам патронного производства в сравнительно быстром и обоснованном решении практических вопросов.

В качестве примера на рис. 140 показан вариант специального оружия, примененный В. М. Кирилловым для экспериментального

исследования прочности и экстракции гильзы 14,5-мм патрона. Оружие частично удовлетворяет требованиям — позволяет менять и измерять упругую деформацию узла запирания, «зеркальный» зазор и толщину стенок (деформацию) патронника.

Для оценки роли температурно-скоростного фактора, необходимость которой возникает при уточнении основ теории работы гильз, требуются специальные эксперименты с термоизоляцией гильзы от порохового заряда при выстреле и с нагружением гильзы в статических условиях. Как показывает опыт, для термоизоляции гильзы достаточно одного слоя кальки. Она полностью сохраняется в гильзе за время выстрела, что и свидетельствует об изоляции.

Одна из схем статического нагружения гильзы, примененная В. А. Протопоповым, показана на рис. 141. В этой схеме не предусмотрена упругость опоры для дна гильзы, что отличает ее от реальных условий. Предварительное тарирование схемы позволяет определять давление в гильзе по деформации наружной поверхности цилиндра *4* или по усилию, прикладываемому к стержню *1*. В качестве рабочего тела применялась вода, обтюрацию которой обеспечивает резиновый обтюратор 2.

Определение конечных зазоров требует высокой точности измерения диаметров гильзы и патронника, порядка тысячных миллиметра. При такой высокой точности измерений имеет большое значение величина усилия в месте контакта мерителя с измеряемой поверхностью. Возникают трудности в отыскании общих сечений ствола и гильзы, точность которого должна быть порядка 0,1 мм.

Общей базой измерения гильзы и патронника, позволяющей наиболее точно найти общие сечения ствола и гильзы, является поверхность дна чашечки («зеркала») затвора при условии, что зазоры в сочленениях деталей узла запирания выбраны. От этой базы и следует отсчитывать расстояния до измеряемых диаметров патронника. Тогда расстояния до измеряемых диаметров гильзы надо отсчитывать от наружной поверхности дна гильзы, соприкасающейся при выстреле с «зеркалом» затвора, независимо от способа фиксации патрона.

При измерении диаметров патронника приходится поступать следующим образом: сначала отсчитывать расстояния до измеряемых сечений от казенного среза ствола, затем определять расстояние от казенного среза ствола до «зеркала» затвора. Непосредственное измерение этого расстояния в оружии зачастую недоступно, поэтому приходится прибегать к искусственным приемам.

Наиболее просто его можно определить с помощью свинцовой пробки, деформируемой затвором и обладающей ничтожной упругостью. Пробка с поперечными размерами, превосходящими наибольший диаметр патронника, загоняется затвором в ствол до запирания затвора. На ней фиксируются в виде отпечатков «зеркало» затвора и казенный срез ствола, что и позволяет опре-

нить искомое расстояние. При использовании установки, показанной на рис. 140, эта задача легко решается с помощью распорного кольца и глубиномера (рис. 142).

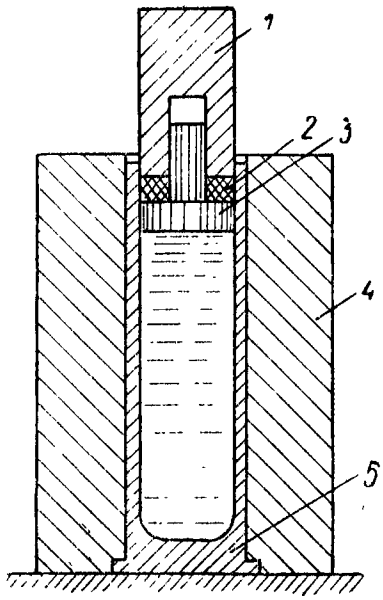


Рис. 141. Схема статического нагружения гильзы: *1* — нагружающий стержень; *2* — обтюратор; *3* — поршень; *4* — цилиндр; *5* — гильза

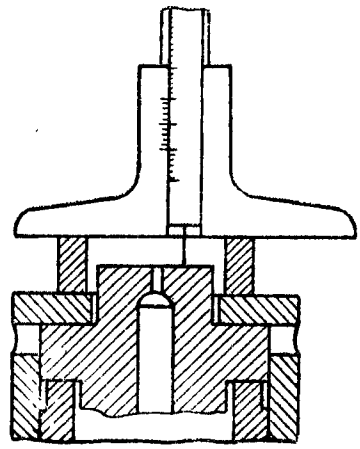


Рис. 142. Схема измерения расстояния между казенным срезом ствола и «зеркалом» затвора

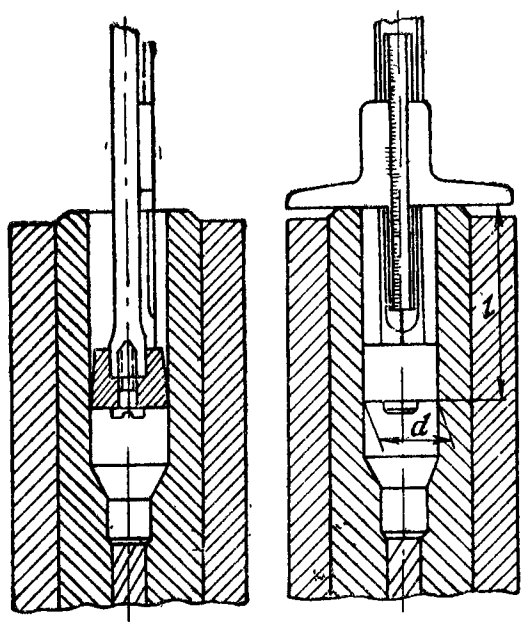


Рис. 143. Схема измерения патронника пробками

Что касается измерения диаметров патронника, то ввиду его значительной глубины возникает трудность применения стандартных мерителей высокой точности, приходится искать специфические приемы измерения. Одним из таких приемов может быть применение набора калиброванных по диаметру и высоте пробок (рис. 143). Пробка позволяет установить расстояние *l*, на котором патронник имеет диаметр *d*. Диаметр в нужном сечении может

быть определен линейным интерполированием по известным диаметрам пробок и измеренным расстояниям от «зеркала» затвора.

Приведенный способ измерения диаметров патронника отличается простотой и даст нужную точность измерений, но требует большой аккуратности в работе. Обычно пробка со стержнем удерживается в патроннике под действием только собственного веса. При наличии овальности патронника этим способом можно определить лишь наименьшие диаметры.

Для измерения диаметров гильзы имеются более широкие возможности применения стандартных и специальных мерителей. Одним из способов измерения гильз может быть применение набора калиброванных мерительных колец (рис. 144), техника измерения которыми такая же, как и патронника пробками.

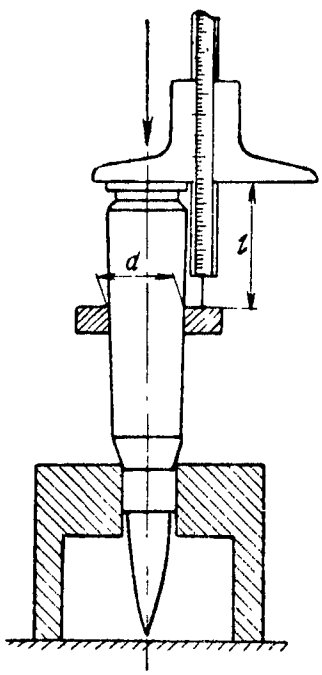


Рис. 144. Схема измерения гильзы кольцами

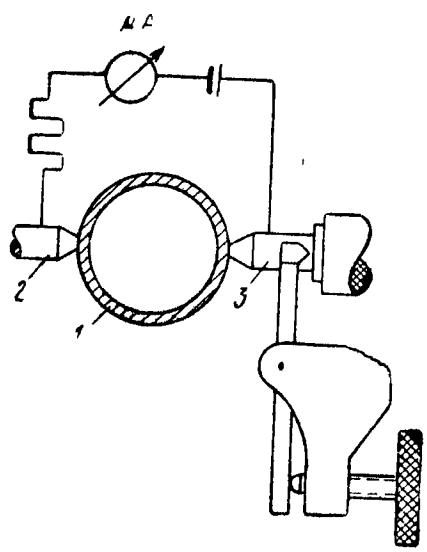


Рис. 145. Схема измерения диаметра гильзы с помощью электроконтакта:
1 — гильза; *2*, *3* — мерительные контакты

Способом, исключающим влияние деформации стенок на результаты измерения, является обмер гильзы на измерительной машине с электрическим контактом для определения момента соприкосновения мерительных элементов с поверхностью гильзы, примененный В. А. Протопоповым (рис. 145). Между неподвижным и подвижным мерительными элементами включаются через гальванометр источник тока и сопротивление. Чтобы исключить влияние на результаты измерения нагрева гильзы и искрения, напряжение и сила тока подбираются минимальными (порядка 10 микроампер). Моменты замыкания и размыкания цепи для счи-

тывания показаний со шкалы машины устанавливаются по колебанию стрелки гальванометра.

При проведении опытов необходимо добиваться постоянства условий, исключающих влияние случайных ошибок. Так, например, неоднородность гильз по механическим характеристикам металла не позволяет в ряде случаев установить количественное влияние отдельных факторов на прочность и экстракцию гильзы при ограниченном числе опытов. Избежать этого можно только путем отбора на патронном заводе гильз, изготовленных в одинаковых условиях (одним инструментом, на одних и тех же станках при одинаковой их наладке).

Широкие пределы колебания максимального давления газов также затрудняют экспериментальное исследование. Кроме технологических мер, уменьшающих разброс величин давления (точная ручная навеска пороха, отбор пуль одинакового диаметра и веса, сборка и обжим патронов на одних и тех же станках без смены инструмента), приходится каждый раз измерять давление.

Имеет также значение постоянство температурных условий проведения опытов и измерения конечных зазоров, что достигается длительной выдержкой патронов, гильз, аппаратуры, мерительного инструмента и проведением измерений при одной и той же температуре.

ПРИМЕРЫ

Пример 10.1. Определить упругую деформацию узла запирания при стрельбе из 14,5-мм противотанкового ружья смазанным патроном при $p_{max} = 3200$ кгс/см^2.

Решение

Определяем удельную жесткость узла запирания по данным В. С. Дейкина: при $p_{max} = 4000$ кгс/см^2 гильза разрывается, а деформация узла запирания составляет $\lambda_{max} = 2{,}15$ мм.

По выражению (10.3.1) имеем

$$\eta = \frac{40}{2{,}15} = 18{,}6 \text{ кгс/мм}^3.$$

Для 14,5-мм гильзы $b = \frac{24{,}3}{27} = 0{,}9$ мм. Пользуясь выражением (10.3.2), получаем

$$\lambda_{max} = \frac{b^2 p_{max}}{\eta} = \frac{0{,}9^2 \cdot 32}{18{,}6} = 1{,}4 \text{ мм}.$$

Этот результат хорошо согласуется с опытом.

Пример 10.2. Определить относительную упругую тангенциальную деформацию патронника при максимальном давлении газов $p_{max} = 300$ кгс/см^2, если отношение наружного диаметра ствола к диаметру патронника $a = 2{,}5$, относительная толщина стенки гильзы $m = 0.1$, а предел текучести металла стенки $\sigma_т = 30$ кгс/мм^2.

Решение

Сопротивление гильзы тангенциальному растяжению

$$p_2 = m\sigma_т = 3{,}0 \text{ кгс/мм}^2.$$

Давление на поверхность патронника

$$p_1 = p_{max} - p_2 = 30 - 3 = 27 \text{ кгс/мм}^2.$$

По выражению (10.3.3), приняв $E = 2{,}1 \cdot 10^4$ кгс/мм^2, имеем

$$\varepsilon_{t1} = \frac{2}{3} \frac{27}{2{,}1 \cdot 10^4} \frac{2 \cdot 2{,}5^2 + 1}{2{,}5^2 - 1} = 0{,}0021.$$

Пример 10.3. Определить максимальное давление пороховых газов, при котором обильно смазанная латунная гильза может получить продольную вмятину при выстреле, если ее наружный радиус $r_2 = 13$ мм, толщина стенки $t = 1$ мм, $\sigma_т = 20$ кгс/мм^2, $E = 1{,}2 \cdot 10^4$ кгс/мм^2.

Решение

По выражению (10.5.5) находим

$$p_{1кр} = \frac{1{,}2 \cdot 10^4}{4 \cdot 13^2} + 20 = 37{,}7 \text{ кгс/мм}^2.$$

Этому давлению по выражению (10.5.1) соответствует наружное давление

$$p'_{2кр} = \frac{1}{13}(37{,}7 - 20) = 1{,}36 \text{ кгс/мм}^2.$$

Оно меньше сопротивления гильзы тангенциальному растяжению

$$\frac{1}{13} \cdot 20 = 1{,}54 \text{ кгс/мм}^2,$$

поэтому найденное значение $p_{1кр}$ не требует уточнения.

Глава 11

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ И ЭКСТРАКЦИИ ГИЛЬЗ

11.1. ОСНОВНЫЕ ГИПОТЕЗЫ ОБРАЗОВАНИЯ КОНЕЧНЫХ ЗАЗОРОВ

Первые попытки объяснить образование конечных зазоров между поверхностью гильзы и каморы (патронника) при выстреле принадлежат русскому полковнику А. Г. Матюнину. По его представлениям, конечные зазоры зависят от сочетания упругой деформации стенок ствола при выстреле и упругой возвратной деформации стенок гильзы. Если упругая тангенциальная деформация гильзы больше соответствующей деформации стенок ствола, то образуется положительный конечный зазор, а если меньше, — натяг. В дальнейшем эта гипотеза послужила основой для развития методов расчета конечных зазоров многими исследованиями.

Первые методы расчета не учитывали всех основных факторов, влияющих на конечные зазоры, поэтому наблюдалось большое расхождение опытных и расчетных данных, послужившее причиной появления других гипотез. Так, инженер французской морской артиллерии Томас на основании заключения о невозможности отделения гильзы от поверхности каморы за счет упругих свойств гильзы и ствола(так как для этого требуются слишком высокие значения предела упругости гильзового материала) выдвинул свою гипотезу.

По этой гипотезе отделение гильзы от поверхности каморы после выстрела происходит преимущественно в результате колебательных движений (расширения и сжатия) стенок ствола. С целью деформации стенок гильзы, необходимой для образования зазора, им нужно сообщить определенную скорость. Расчеты Томаса показали, что скорость стенок каморы при колебательном движении недостаточна, поэтому пришлось предположить, что стенки гильзы приобретают необходимую скорость благодаря разности частот колебаний гильзы и ствола и наличию периодических ударов ствола о стенки гильзы, увеличивающих скорость стенок гильзы.

В основе гипотезы Томаса лежит допущение, что давление в канале ствола после вылета снаряда из дула падает мгновенно, это и является причиной колебательного движения. В действительности дульное давление падает не мгновенно, а в течение периода,

превосходящего в десятки раз период собственных колебаний стенок ствола, поэтому колебания возникнуть не могут ни в период истечения газов, ни в другие периоды выстрела.

Гипотеза Томаса, получившая освещение в специальной литературе, является ошибочной. Эта ошибочность подтверждается опытами, в частности, проведенными В. С. Дейкиным и П. В. Куценко. По гипотезе Томаса, более мягкую стенку гильзы легче обжать «колеблющейся» каморой. Опыт же показывает, что гильза с мягкими стенками (отожженная) резко отличается тугой экстракцией. Укорочение ствола и увеличение этим дульного давления и амплитуды колебаний по гипотезе Томаса должно улучшить экстракцию гильзы, однако опыт этого не подтверждает.

В 1944 г. В. А. Протопоповым предложена новая гипотеза, объясняющая образование конечных зазоров температурными деформациями тонкостенной гильзы, которая при выстреле сильно нагревается, а при остывании уменьшается в диаметре и образует конечный зазор. Для использования температурной деформации гильзы с целью образования конечного зазора требуются уменьшение толщины стенки, некоторая выдержка гильзы в патроннике после выстрела. Этот способ может оказаться приемлемым в охотничьих ружьях и неавтоматических артиллерийских системах с раздельным гильзовым заряжанием.

В стрелковом оружии этот путь улучшения экстракции гильз непригоден по следующим причинам:

при стрельбе из автоматического оружия нет условий для остывания гильзы в патроннике, так как она немедленно экстрагируется, а ствол имеет обычно высокую температуру;

от гильз патронов стрелкового оружия требуется высокая жесткость и прочное крепление пули в дульце, поэтому нет условий для значительного уменьшения толщины стенок.

Поэтому в стрелковом оружии приходится использовать упругие свойства гильзы для улучшения ее экстракции при максимально возможном уменьшении влияния нагрева ее стенок на экстракцию.

11.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ ОСЕВОЙ ДЕФОРМАЦИИ ГИЛЬЗЫ

Под предельной понимается осевая деформация стенок, соответствующая временному сопротивлению материала стенок в опасном сечении при выстреле. Для ее определения приходится принимать ряд упрощающих допущений.

1. Стенки гильзы испытывают одноосное (осевое) напряжение. Это допущение приемлемо при большой осевой (пластической) деформации, когда влияние тангенциального и радиального напряжений на осевую деформацию мало, тем более, что эти напряжения имеют разные знаки.

2. Предельная осевая растягивающая сила Q_z распределена по закону прямой на всем протяжении стенок корпуса гильзы

(дульце и скат гильзы не учитываются вследствие нарушения обтюрации пороховых газов).

3. Связь осевого напряжения стенок гильзы с пластической деформацией выражена при помощи модуля пластичности ψ (рис. 146)

$$\psi = \operatorname{tg}\alpha' = \frac{\sigma_z}{\frac{\sigma_{уп}}{E} + x} = \frac{\sigma_z}{\sigma_{уп} + Ex} E, \qquad (11.2.1)$$

где E — модуль упругости материала гильзы;

x — относительная пластическая деформация;

σ_z — осевое напряжение в стенке;

$\sigma_{уп}$ — предел упругости.

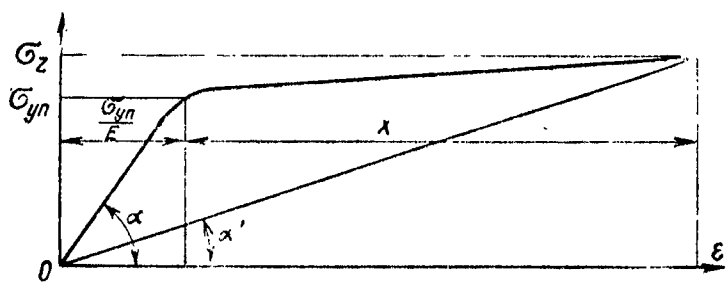


Рис. 146. Кривая растяжения материала в упругопластической зоне

Приняв $\sigma_z = \sigma_{уп}$ (идеальная пластичность) и $Ex = n\sigma_{уп}$, получим выражение (11.2.1) в таком виде:

$$\psi = \frac{1}{1+n} E,$$

где n — коэффициент, означающий кратное соотношение пластической и упругой деформации. Опыт показывает, что в расчетах можно принимать $n = 4 \div 5$, откуда

$$\psi = (0{,}20 \div 0{,}17) E.$$

4. Механические характеристики прочности металла представляются временным сопротивлением $\sigma_в$ и учитываются только в донной части корпуса гильзы.

5. Осевая деформация дна гильзы пренебрежимо мала и не учитывается.

6. Гильза доводится в осевом направлении до предельного состояния, отвечающего временному сопротивлению материала стенок гильзы в опасном сечении (на некотором удалении от дна).

Принятые допущения весьма упрощают задачу определения предельной осевой деформации гильзы. Порядок решения задачи приведен в следующей форме. Он предусматривает построение

Форма расчета предельной осевой деформации гильзы

Характеристики	Сечения и участки			
	0	1	2	i
t, мм	t_0	t_1	t_2	t_i
d, мм	d_0	d_1	d_2	d_i
$s=\pi(d-t)t$, мм^2	s_0	s_1	s_2	s_i
$Q_в = s\sigma_в$, кгс	$Q_{в0}$	$Q_{в1}$	$Q_{в2}$	$Q_{вi}$
Q_z, кгс	Q_{z0}	Q_{z1}	Q_{z2}	Q_{zi}
$\sigma_z = \frac{Q_z}{s}$, кгс/мм^2	σ_{z0}	σ_{z1}	σ_{z2}	σ_{zi}
$\sigma_{zср}$, кгс/мм^2	—	$\sigma_{zср1}$	$\sigma_{zср2}$	$\sigma_{zсрi}$
Δl, мм	—	Δl_1	Δl_2	Δl_i
$\Delta\lambda = \frac{\sigma_{zср}}{E}\Delta l$, мм	—	$\Delta\lambda_1$	$\Delta\lambda_2$	$\Delta\lambda_i$
$\lambda_г = \Sigma\Delta\lambda$, мм	—	λ_1	λ_2	λ_i

графика временного сопротивления стенок гильзы $Q_в$ и касательной к этому графику Q_z (рис. 147). По значениям Q_z определяют значения осевого напряжения σ_z. Эти напряжения усредняют ($\sigma_{z\,ср}$) на принятых участках деления стенок гильзы Δl. Затем определяют абсолютные значения деформации по участкам $\Delta\lambda$ и предельную осевую деформацию $\lambda_г$ как сумму деформаций по участкам.

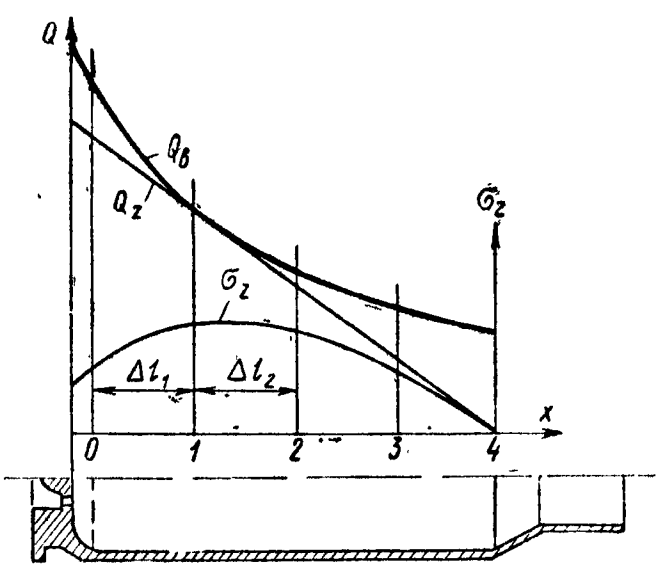


Рис. 147. Схема осевых сил и напряжений, возникающих в стенках гильзы

Предельная осевая деформация гильзы является важной характеристикой ее, определяющей возможности нормального функционирования в оружии с определенно заданной упругой деформацией узла запирания. Для стальных гильз она примерно равна 1% от длины корпуса гильзы, т. е. около 0,4 мм для винтовочных гильз, 0,8 мм для гильз калибра 12,7 мм и 0,9 мм для гильз калибра 14,5 мм.

11.3. РАСЧЕТ ПОПЕРЕЧНОЙ ПРОЧНОСТИ ГИЛЬЗЫ

Расчет гильз на поперечную прочность сводится, главным образом, к определению предельной осевой деформации гильзы $\lambda_т$ и сравнению ее с упругой деформацией узла запирания оружия $\lambda_з$. Упругая деформация (жесткость) узла запирания является основной характеристикой конструкции оружия, определяющей функционирование гильзы при стрельбе. Наряду с этим на прочность гильзы оказывает влияние «зеркальный» зазор между дном гильзы и «зеркалом» затвора или в сочленениях узла запирания, особенно при неблагоприятных условиях трения. Он может меняться без изменения конструкции оружия.

При наличии неизбежного «зеркального» зазора, разброса величин максимального давления газов, механических характеристик прочности материала гильзы и коэффициента трения гильзы о поверхность патронника для гарантии прочности гильз и нормальной их экстракции деформацию деталей узла запирания целесообразно ограничивать условием $\lambda_з \leqslant 0{,}5\,\lambda_т$.

11.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЕЧНЫХ ЗАЗОРОВ

Определим конечный зазор между стенками гильзы и поверхностью патронника при условии, что давление пороховых газов в канале ствола полностью спало, а температура между гильзой и стенками ствола выравнялась. При этом условии относительная величина конечного зазора определится, как разность упругих относительных тангенциальных деформаций наружной поверхности гильзы ε_1 и патронника ε_2:

$$\Delta_1 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2. \qquad (11.4.1)$$

Упругая (возвратная) тангенциальная деформация гильзы имеет выражение

$$\varepsilon_{t1} = \frac{\sigma_{t1}}{E_1} - \frac{1}{3}\,\frac{1}{E_1}(\sigma_{r1} + \sigma_{z1}).$$

Учитывая, что деформация гильзы выходит из упругой зоны, можно принять $\sigma_{t1} = \sigma_т$, максимальное радиальное напряжение стенок гильзы можно принять равным максимальному давлению газов $\sigma_{r1} = -p_{max}$. Введя обозначения $\varepsilon_{t1} = \varepsilon_1$ и $\frac{\sigma_{z1}}{p_{max}} = \alpha$, окончательно получим

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_т}{E_1} + \frac{1}{3E_1}(1 - \alpha)\,p_{max}, \qquad (11.4.2)$$

где $\sigma_т$, E_1 — предел текучести и модуль упругости материала гильзы;

α — коэффициент, учитывающий влияние на конечный зазор осевого растягивающего напряжения.

В ряде случаев (при высокой жесткости узла запирания, смазанной гильзе) можно принимать $\alpha=0$. В другом (крайнем) случае, когда гильза функционирует на грани разрыва, этот коэффициент может быть определен для каждого сечения по кривой предельного осевого растяжения стенок гильзы (см. рис. 147):

$$\alpha = \frac{\sigma_z}{p_{\max}}.$$

Форма расчета конечных зазоров и усилия экстракции

Характеристики	Сечения и участки					
	0	1	...	i	...	n
$\sigma_т$	$\sigma_{т0}$	$\sigma_{т1}$	...	$\sigma_{тi}$	...	$\sigma_{тn}$
σ_z	$\sigma_{z0}=0$	σ_{z1}	...	σ_{zi}	...	σ_{zn}
$\alpha=\sigma_z/p_{\max}$	α_0	α_1	...	α_i	...	α_n
$\varepsilon_1=\frac{\sigma_т}{E_1}+\frac{1}{3E_1}(1-\alpha)p_{\max}$	ε_{10}	ε_{11}	...	ε_{1i}	...	ε_{1n}
t	t_0	t_1	...	t_i	...	t_n
d	d_0	d_1	...	d_i	...	d_{tn}
$p_2=\frac{2t}{d}\sigma_т$	p_{20}	p_{21}	...	p_{2i}	...	p_{2n}
$p_1=p_{\max}-p_2$	p_{10}	p_{11}	...	p_{1i}	...	p_{1n}
a	a_0	a_1	...	a_i	...	a_n
$\varepsilon_2=\frac{2}{3}\frac{p_1}{E_2}\times\frac{2a^2+1}{a^2-1}$	ε_{20}	ε_{21}	...	ε_{2i}	...	ε_{2n}
$\Delta_1=\varepsilon_1-\varepsilon_2$	Δ_{10}	Δ_{11}	...	Δ_{1i}	...	Δ_{1n}
$p_{э1}$	$p_{э10}$	$p_{э11}$	...	$p_{э1i}$	...	$p_{э1n}$
l	—	l_1	...	l_i	...	l_n
$p_{э1ср}$	—	$p_{э1\,ср1}$	...	$p_{э1\,ср i}$	...	$p_{э1\,срn}$
$d_{ср}$	—	$d_{ср\,1}$	...	$d_{ср\,i}$	...	$d_{срn}$
$\Delta R=\pi d_{ср} f l p_{э1ср}$	—	ΔR_1	...	ΔR_i	...	ΔR_n
$R=\sum_1^n \Delta R$	—	ΔR_1	...	R_i	...	R_n

Упругая деформация патронника при отсутствии осевой силы в стенках ствола имеет выражение

$$\varepsilon_2 = \frac{2}{3}\,\frac{p_1}{E_2}\,\frac{2a^2+1}{a^2-1}, \qquad (11.4.3)$$

где E_2 — модуль упругости материала ствола;

$a = \frac{r_2}{r_1}$ — отношение наружного радиуса ствола к радиусу патронника;

p_1 — давление на поверхность патронника,

$$p_1 = p_{max} - \frac{2t}{d}\sigma_т = p_{max} - p_2; \qquad (11.4.4)$$

t, d — толщина стенки и диаметр гильзы.

Величина зазора по выражению (11.4.1) может быть положительной и отрицательной (натяг).

Для определения зазоров и усилий экстракции гильза условно разбивается сечениями на участки по аналогии с рис. 147. Целесообразно воспользоваться следующей формой расчета.

11.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ ЭКСТРАКЦИИ ГИЛЬЗ

Необходимость определения усилия экстракции гильз возникает при расчете выбрасывателей и элементов движения автоматики. Исходными данными для расчетов являются величины конечных зазоров Δ_1 и давление пороховых газов в канале ствола $p_э$ в момент экстракции гильзы. Расчеты ведутся по сечениям и участкам гильзы с использованием формы расчета (см. параграф 11.4) в следующем порядке.

1. Определяем давление между стенками гильзы и патронника $p_э$. Для наглядности сделаем геометрические построения (рис. 148). По оси ординат откладываем значения максимального давления газов p_{max} и сопротивления гильзы тангенциальному растяжению p_2, а по оси абсцисс — значения деформации патронника ε_2 и конечного зазора Δ_1, в зависимости от его знака. Соединив прямыми полученные точки a и b с ординатами p_2 и p_{max}, получим область давления между стенками гильзы и поверхностью патронника. Заданному давлению газов $p_э$ соответствует давление на поверхности гильзы $p_{э1}$.

Рассматривая треугольники $\Delta b\, p_{max}\, p_2$ и $\Delta a\, p_2 0$, можно составить пропорции:

$$\frac{p_{э1}}{p_{max} - p_2} = \frac{\varepsilon_2 - x}{\varepsilon_2}; \quad \frac{p_э - p_{э1}}{p_2} = \frac{\varepsilon_2 + \Delta_1 - x}{\varepsilon_2 + \Delta_1}.$$

Исключая путем подстановки x и решая полученное уравнение относительно $p_{э1}$, получаем

$$p_{э1} = \frac{p_э(\varepsilon_2 + \Delta_1) - p_2\Delta_1}{p_{max}(\varepsilon_2 + \Delta_1) - p_2\Delta_1}(p_{max} - p_2). \qquad (11.5.1)$$

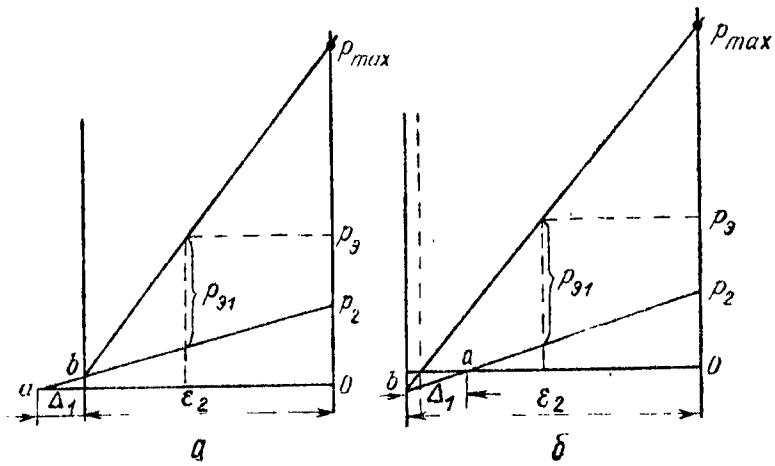


Рис. 148. Определение давления между стенками гильзы и патронника:
а — при положительном конечном зазоре; *б* — при отрицательном конечном зазоре

Этим выражением и можно пользоваться, не прибегая к графическим построениям. Рассмотрим три частных случая:

1) при $p_э(\varepsilon_2 + \Delta_1) = p_2\Delta_1$, т. е. при $p_э = \frac{\Delta_1}{\varepsilon_2 + \Delta_1}$,

$$p_{э1} = 0;$$

2) при $\Delta_1 = 0$

$$p_{э1} = \frac{p_э}{p_{max}}(p_{max} - p_2);$$

3) при $p_э = 0$

$$p_{э1} = -\frac{p_2\Delta_1}{p_{max}(\varepsilon_2 + \Delta_1) - p_2\Delta_1}(p_{max} - p_2).$$

В третьем случае давление на поверхности гильзы может возникнуть только при отрицательном конечном зазоре, т. е. при натяге.

2. Зная давление на поверхности гильзы, можно определить силу трения по участкам

$$R = \pi f \sum_1^n d_{ср} l p_{э1ср}$$

и усилие экстракции

$$Q_э = NR - \frac{\pi d_д^2}{4} p_э,$$

где $d_д$ — диаметр патронника в месте расположения дульца гильзы;

$N = 1 - \frac{\operatorname{tg} \alpha}{f}$ — коэффициент, учитывающий влияние конусности патронника;

α — угол между образующими поверхностями патронника;

f — коэффициент трения.

ПРИМЕРЫ

Пример 11.1. Определить предельную осевую деформацию стальной гильзы 7,62-мм винтовочного патрона при $\sigma_в = 62{,}5$ кгс/мм²; $E = 2{,}2 \cdot 10^4$ кгс/мм²; $\psi = 0{,}2 \cdot E = 4400$ кгс/мм².

Решение

Решение приводится в табл. 24 и на рис. 149. Для расчета принято три сечения (два участка). Получен результат $\lambda_г = 0{,}354$ мм.

Таблица 24

Расчет винтовочной гильзы

Характеристики	Сечения и участки		
	0	1	2
x, мм	0	11,61	35,10
t, мм	0,89	0,53	0,34
d, мм	12,73	12,33	11,61
$s = \pi(d - t)\, t$, мм²	33,1	19,7	12,0
$Q_в = s\sigma_в$, кгс	2065	1230	750
Q_z, кгс	1770	1170	0
$\sigma_z = Q_z / s$, кгс/мм²	54	59,5	0
$\sigma_{z\,ср}$, кгс/мм²	—	60	35
Δl, мм	—	11,61	23,49
$\Delta\lambda = \frac{\sigma_{z\,ср}}{\psi} \Delta l$, мм	—	0,172	0,182
$\lambda = \Sigma\Delta\lambda$, мм	—	0,172	0,354

Пример 11.2. Определить величину конечного зазора для одного из сечений винтовочной гильзы при следующих данных: $\sigma_т = 40$ кгс/мм²; $E_1 = 2{,}1 \cdot 10^4$ кгс/мм²; $p_{max} = 30$ кгс/мм²; $d = 12{,}2$ мм; $t = 0{,}5$ мм; $a = 2{,}5$; $\alpha = 0$ и $\alpha = \frac{\sigma_т}{p_{max}} = 1{,}3$.

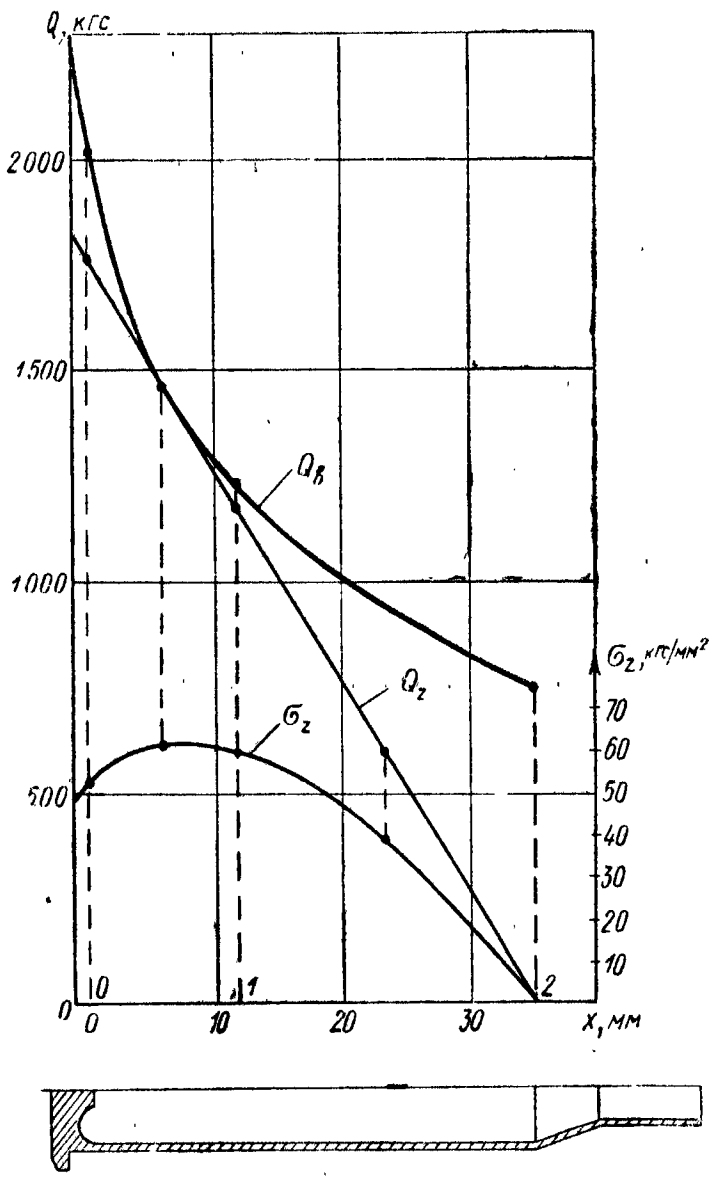


Рис. 149. Схема осевых сил и напряжений в стенках винтовочной гильзы

Решение

Упругая деформация гильзы по выражению (11.4.2):

при $\alpha = 0$ $\varepsilon_1 = \frac{40}{2{,}1 \cdot 10^4} + \frac{30}{3 \cdot 2 \cdot 10^4} = 0{,}0024$;

при $\alpha = 1{,}3$ $\varepsilon_1 = 0{,}0019 - 0{,}0005 \cdot 0{,}3 = 0{,}0018$.

Давление на поверхности патронника по выражению (11.4.4)

$$p_1 = 30 - \frac{2 \cdot 0{,}5}{12{,}2}\ 40 = 30 - 3{,}3 = 26{,}7\ \text{кгс/мм}^2.$$

Упругая деформация патронника по выражению (11.4.3)

$$\varepsilon_2 = \frac{2}{3}\ \frac{26{,}7}{2{,}1 \cdot 10^4}\ \frac{2 \cdot 2{,}5^2 + 1}{2{,}5^2 - 1} = 0{,}0022.$$

Относительные величины конечных зазоров:

при $\alpha = 0$ $\Delta_1 = 0{,}0024 - 0{,}0022 = 0{,}0002$;

при $\alpha = 1{,}3$ $\Delta_1 = 0{,}0018 - 0{,}0022 = -0{,}0004$.

Абсолютные величины зазоров соответственно равны 0,003 и —0,005 мм. Как видно, осевое напряжение гильзы привело к заклиниванию гильзы в рассматриваемом сечении.

Пример 11.3. Для условий предыдущего примера определить давление на поверхности гильзы при отсутствии давления пороховых газов в канале ствола ($p_э = 0$).

Решение

По выражению (11.5.1) при $\Delta_1 = -0{,}0004$ имеем,

$$p_{э1} = \frac{3{,}3 \cdot 0{,}0004}{30\,(0{,}0022 - 0{,}0004) + 3{,}3 \cdot 0{,}0004}\ 26{,}7 = 0{,}64\ \text{кгс/мм}^2.$$

При $\Delta_1 = 0{,}0002$ имеем

$$p_{э1} = \frac{-3{,}3 \cdot 0{,}0002}{30\,(0{,}0022 + 0{,}0002) - 3{,}3 \cdot 0{,}0002}\ 26{,}7 = -0{,}25\ \text{кгс/мм}^2.$$

Пример 11.4. В условиях примера 11.2 определить давление на поверхности гильзы при давлении пороховых газов в канале ствола $p_э = 2$ кгс/мм^2.

Решение

По выражению (11.5.1) при $\Delta_1 = 0{,}0002$ и $\Delta_1 = -0{,}0004$ соответственно получаем значения $p_{э1}$:

$$p_{э1} = \frac{2 \cdot 0{,}0024 - 3{,}3 \cdot 0{,}0002}{30 \cdot 0{,}0024 - 3{,}3 \cdot 0{,}0002}\ 26{,}7 = 1{,}55\ \text{кгс/мм}^2;$$

$$p_{э1} = \frac{2 \cdot 0{,}0018 + 3{,}3 \cdot 0{,}0004}{30 \cdot 0{,}0018 + 3{,}3 \cdot 0{,}0004}\ 26{,}7 = 2{,}38\ \text{кгс/мм}^2.$$

Глава 12

ПОРОХА ПАТРОНОВ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ

12.1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ПОРОХАХ

Порохами называют группу взрывчатых веществ, применяемых в стрелковом оружии и артиллерии главным образом в качестве источников энергии движения пуль и снарядов, а также в качестве воспламенителей, замедлителей, вышибных зарядов и др. Пороха сравнительно легко воспламеняются и обычно горят параллельными слоями, что позволяет регулировать выделение газов при их горении и управлять выстрелом. Горение порохов в обычных условиях не переходит в детонацию.

К порохам предъявляются следующие основные требования: достаточная мощность (работоспособность), обеспечивающая высокое метательное или воспламеняющее действие; определенные пределы чувствительности к механическим и тепловым импульсам, обеспечивающие безотказность действия боеприпасов и безопасность в обращении; стабильность физико-химических, а следовательно, и баллистических свойств в процессе хранения; способность устойчивого и закономерного горения; достаточная механическая прочность пороховых элементов; бездымность и по возможности беспламенность при стрельбе; минимальное коррозионное и эрозионное действие на поверхность канала ствола; невысокая стоимость изготовления и недефицитность исходных материалов.

Все существующие пороха разделяются на две самостоятельные группы: *пороха — механические смеси и пороха коллоидного типа.* Пороха коллоидного типа обычно горят закономерно параллельными слоями и используются для метательных целей. Пороха — механические смеси, к которым относится дымный порох, горят более или менее закономерно только при больших плотностях пороховых зерен, поэтому они почти не применяются для метательных целей, а используются для изготовления воспламенителей, дистанционных составов, вышибных зарядов и др.

Основой всех порохов коллоидного типа являются нитраты целлюлозы. В зависимости от растворителя, применяемого для

перевода нитратов целлюлозы в желатинообразную массу, пороха коллоидного типа делятся на группы:

пороха на летучем растворителе (пироксилиновые), получаемые обработкой пироксилина спирто-эфирной смесью;

пороха на труднолетучем растворителе (баллиститы), получаемые обработкой низкоазотных нитратов целлюлозы (колоксилина) нитроглицерином или каким-либо другим нитратом многоатомного спирта;

пороха на смешанном растворителе (кордиты), получаемые обработкой высокоазотных нитратов целлюлозы (пироксилина) нитроглицерином и дополнительным летучим растворителем, обеспечивающим желатинизацию (ацетоном, спирто-эфирной и другими смесями), который подлежит полному удалению из состава готового пороха;

пороха на нелетучем растворителе, получаемые специальной обработкой низкоазотных нитратов целлюлозы твердыми желатинизаторами (пластификаторами) при повышенной температуре. Ввиду трудностей изготовления эти пороха не получили широкого применения.

В стрелковом оружии и артиллерийских орудиях в преобладающем большинстве применяются пороха на летучем растворителе или пироксилиновые пороха. В их состав входят: пироксилин 95—96%; растворитель (спирто-эфирная смесь) до 2,5%; дифениламин (стабилизатор) около 1%; вода около 1%. По форме зерен пироксилиновые пороха стрелкового оружия могут быть пластинчатые, сферические, зерненые (без канала, с одним и семью каналами).

Пороха, содержащие в поверхностных слоях зерен для улучшения баллистических свойств флегматизатор (обычно камфору) до 1,5%, называются флегматизированными. Иногда для улучшения сыпучести зерна обрабатываются графитом, вес которого составляет порядка 0,2% от общей массы.

12.2. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОХОВ

Плотность пороха, зависящая от давления прессования и качества желатинизации, влияет на характер и скорость горения пороховых зерен. Для различных порохов коллоидного типа она колеблется от 1,54 до 1,64 г/см^3 (пироксилиновых от 1,56 до 1,64 и нитроглицериновых от 1,54 до 1,62 г/см^3). Для пироксилинового пороха плотность зависит также от содержания летучих веществ. Эта зависимость выражается формулой Г. П. Киснемского

$$\delta = 1{,}654 - 0{,}0124H,$$

где H — содержание летучих веществ в процентах.

Гравиметрическая плотность зерненых порохов коллоидного типа, характеризующая вместимость пороха в гильзу и зависящая от его плотности, формы и размеров пороховых зерен, а также от

способа обработки их поверхности, колеблется в пределах 0,8—1,1 кг/дм³.

Физическая стабильность пороха характеризуется способностью его противостоять в процессе хранения изменению своего состава. Это изменение зависит главным образом от уменьшения в составе пороха летучих веществ и влияет на скорость его горения, а следовательно, на начальную скорость пули и максимальное давление газов. Летучие вещества в порохе условно делят на удаляемые шестичасовой сушкой при температуре +95° С (это обычно влага и некоторое количество остаточного растворителя) и неудаляемые шестичасовой сушкой (спирто-эфирный растворитель). С уменьшением растворителя в составе пороха увеличиваются максимальное давление газов и скорость пули согласно зависимостям:

$$\frac{\Delta p_{max}}{p_{max}} = -0{,}15\Delta H; \quad \frac{\Delta v_0}{v_0} = -0{,}04\Delta H,$$

где ΔH — изменение процентного содержания летучих (берется со своим знаком).

Степень нитрации пороха, характеризуемая содержанием азота, влияет на работоспособность пороха и скорость его горения. Чем больше в порохе азота, тем он сильнее и интенсивнее горит. Степень нитрации измеряется количеством азота (N) в процентах или окиси азота (К) в кубических сантиметрах, приходящимся на 1 г пироксилина пороха. Связь между ними при температуре 0° С и давлении 760 мм рт. ст. выражается формулой

$$N = \frac{K}{16}.$$

Содержание азота в пироксилиновых порохах находится обычно в пределах 12,5—13,5%.

Состав продуктов горения. Анализ газов после сжигания пироксилинового пороха в калориметрической бомбе показывает, что основная их масса состоит из CO_2, CO, H_2, N_2 и паров H_2O, а также некоторого количества метана CH_4 и аммиака H_3. Состав газов меняется в зависимости от условий заряжания и сгорания порохового заряда.

Химическая стойкость пороха как способность его сопротивляться медленному разложению в процессе хранения влияет на срок пригодности пороха. Она зависит от качества пороха и условий его хранения (температуры, влажности воздуха и герметичности укупорки). Продолжительность хранения пороха в зависимости от температуры можно определить по формуле

$$\tau = ak^{-T},$$

где τ — продолжительность хранения пороха при данной температуре до начала прогрессивного разложения его, ч (суток, лет);

T — температура хранения пороха, °С;

k — температурный коэффициент скорости реакции, зависящий от природы пороха;

a — коэффициент, зависящий от условий испытания, свойств пороха и выбранной единицы времени.

Как показывает опыт, продолжительность хранения различных стабилизированных порохов 20—35 лет. В процессе хранения периодически проверяется химическая стойкость порохов теми или иными средствами.

12.3. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОХОВ

В качестве критериев для оценки работоспособности пороха используют следующие энергетические характеристики.

Температура горения пороха T_1, К, т. е. температура, которой обладают пороховые газы в момент их непосредственного образования.

Ввиду больших значений T_1 и кратковременности горения пороха при выстреле ее определяют не прямым опытным путем, а косвенно, для чего надо знать теплоту взрывчатого разложения пороха Q_w, состав газов, их теплоемкости и изменение их с температурой. Чем большую температуру имеют пороховые газы, тем большую работу они могут совершить при выстреле. Температура горения пироксилиновых порохов порядка 2900—3200 К, а нитроглицериновых 3000—3500 К. Она зависит от содержания азота, что видно из формулы Г. П. Киснемского

$$T_1 = 273 + 34{,}7N^{5/3},$$

где N — процентное содержание азота.

Теплота взрывчатого разложения пороха Q_w, ккал/кг, выделяемая при сгорании 1 кг пороха и охлаждении продуктов сгорания до температуры +18° С.

Эта теплота различна в зависимости от того, сжигается порох в постоянном объеме или при постоянном давлении. Обычно порох сжигается в калориметрической бомбе, т. е. в постоянном объеме, а теплота определяется при жидкой фазе влаги. Представляет же интерес теплота при влаге в виде пара.

Поэтому в полученный опытом результат вводится поправка:

$$Q_w(\mathrm{H_2O_{пар}}) = Q_w(\mathrm{H_2O_{жидк}}) - 620\,\frac{n}{100},$$

где n — процентное содержание влаги в продуктах разложения пороха;

620 — количество больших калорий, выделяемое при конденсации 1 кг водяных паров и охлаждении их до температуры +18° С.

Чем больше теплота Q_w, тем большую работу могут совершить газы в оружии. Она зависит главным образом от содержания

азота в пироксилине и летучих веществ в порохе. С увеличением содержания азота работоспособность пороха увеличивается, а с увеличением летучих веществ уменьшается. Теплота взрывчатого разложения пироксилиновых порохов находится в пределах от 700 до 900, а нитроглицериновых — от 1000 до 1200 ккал/кг.

Объем газов W_1, дм³/кг, получаемых при сгорании 1 кг пороха, который они занимают при давлении 760 мм рт. ст и температуре 0° С.

После сжигания пороха в калориметрической (или манометрической) бомбе газы выпускают, измеряют их объем при атмосферном давлении, а затем приводят к 0° С. Так как влага при этом находится в жидкой фазе, а интерес представляет активный объем газов с парообразной влагой, то объем газов определяют по формуле

$$W_1(H_2O_{пар}) = W_1(H_2O_{жидк}) + 1240\frac{n}{100},$$

где 1240 — объем 1 кг водяного пара при атмосферном давлении и 0°С.

Чем больше объем газов, тем большую работу они могут совершить в оружии. Объем газов зависит от содержания азота и для пироксилиновых порохов выражается зависимостью Г. П. Киснемского

$$W_1 = 1515 - 48{,}72N,$$

а практически находится в пределах от 850 до 950 дм³/кг.

Сила пороха f кгс·дм/кг, характеризующая его работоспособность, выражается формулой

$$f = \frac{p_1 W_1 T_1}{273},$$

где p_1 — одна физическая атмосфера, и зависит от содержания азота, что видно из выражения Г. П. Киснемского

$$f = 11800N^{0,8}.$$

Для пироксилиновых порохов сила пороха составляет от 900000 до 1000000 и для нитроглицериновых порохов от 900000 до 1200000 кгс·дм/кг.

12.4. БАЛЛИСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОХОВ

Для данной природы пороха непосредственное влияние на баллистические характеристики оружия оказывает форма и размеры пороховых зерен, а также скорость их горения. Форма и размеры пороховых зерен определяют возможность применения пороха в том или ином оружии. В зависимости от формы и размеров зерен наблюдается тот или иной характер сгорания порохового заряда, определяющий характер изменения давления пороховых газов или скорости пули (снаряда) в канале ствола.

Определяющим характер сгорания заряда является характер изменения величины поверхности пороховых зерен в процессе горения, которая может возрастать либо убывать по мере горения. В зависимости от этого различают пороха прогрессивной формы, пороха дегрессивной формы и пороха с постоянной поверхностью горения.

Пороха дегрессивной формы характеризуются убыванием поверхности пороховых зерен в процессе горения. Отношение величины поверхности этих порохов в любой момент времени s к величине первоначальной поверхности s_1 всегда меньше единицы. Эти пороха имеют такие формы, как шар, куб, цилиндр, пластинка и др. (рис. 150, *а, б*).

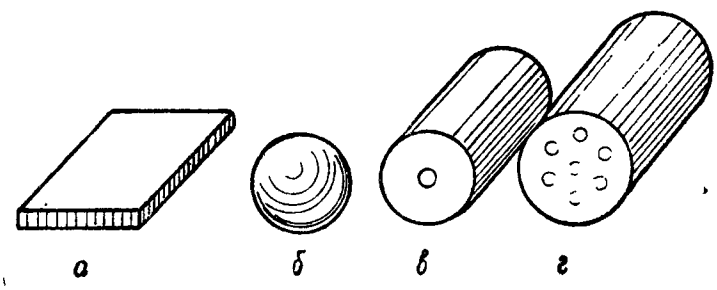


Рис. 150. Основные формы пороховых зерен:
а — пластинка; *б* — шар; *в* — цилиндр с одним каналом; *г* — цилиндр с семью каналами

Пороха прогрессивной формы характеризуются увеличением поверхности пороховых зерен в процессе горения, и отношение s/s_1 больше единицы. Эти пороха имеют следующие формы: цилиндрическое зерно с семью каналами, получившее широкое применение (см. рис. 150 в, г), фигурное зерно с семью каналами и др. Прогрессивное горение таких порохов происходит до момента распада зерен на дегрессивной формы кусочки, составляющие 10—15% от веса пороха.

К пороху с постоянной поверхностью горения относится трубчатый порох, у которого отношение поверхностей горения s/s_1 близко к единице.

Из размеров пороховых зерен существенное влияние на максимальное давление газов и скорость пули оказывает толщина горящего свода ($2\,l_1$). Это влияние отражается зависимостью, полученной испытательной комиссией охтинских пороховых заводов (ИКОПЗ):

$$\frac{\Delta v_0}{v_0} = -\frac{1}{3}\,\frac{\Delta 2e_1}{2e_1}\,; \quad \frac{\Delta p_{\max}}{\Delta p_{\max}} = -\frac{4}{3}\,\frac{\Delta 2e_1}{2e_1}\,.$$

На степень прогрессивности пороха, как известно, оказывает влияние процесс флегматизации пороховых зерен. В этом смысле деление пороха на дегрессивную и прогрессивную форму условно. Дегрессивный порох путем надлежащей флегматизации может образовать прогрессивное газообразование за счет прогрессивной скорости в процессе горения и может быть, по существу, прогрес-

сивным. Поэтому не случайным является применение флегматизации порохов как прогрессивной, так и дегрессивной формы. Видное место занимает порох такой сугубо дегрессивной формы, как сферический. Его дегрессивность в обычном понимании уменьшается в результате флегматизации. Зато достигаются высокие плотности заряжания этого пороха за счет высокой гравиметрической плотности, в чем и состоит его основная особенность.

Сферический порох изготовляется по особому технологическому процессу, отличному от изготовления других целлюлозных порохов. Это отличие состоит в том, что в результате энергичного перемешивания водной эмульсии, в состав которой входит измельченная пороховая масса, образуются пороховые шарики определенных размеров в зависимости от состава массы, частоты вращения машины, вязкости эмульсии, температуры и давления в аппарате, наличия связующих веществ и др. В состав пороховой массы может частично входить нитроглицерин, измельченные старые пороха, негодные к употреблению. Это позволяет увеличивать силу пороха. Технология изготовления сферического пороха проще и безопаснее, регламент в 4—5 раз сокращается в сравнении с обычными порохами.

В процессе изготовления зерна сферического пороха имеют разный диаметр, поэтому их сортируют ситами. Иногда зерна прокатываются нагретыми валками для уменьшения и выравнивания толщины горящего свода. Кроме флегматизации зерна обрабатываются графитом с целью устранения электризации и улучшения сыпучести.

Скорость горения пороха как характеристика процесса горения зависит от природы пороха и от внешних условий (внешнего давления, температуры, содержания азота, летучих веществ и др.). При давлениях порядка 1000 кгс/см^2 и более принимается закон скорости горения в виде $u = Ap$.

При $p_1 = 1$

$$u_1 = A,$$

где A — коэффициент скорости горения; p — давление.

Для пироксилиновых порохов скорость горения $u_1 = 0{,}0000060 \div 0{,}00001000$, для нитроглицериновых $u_1 = 0{,}0000060 \div 0{,}0000090$ дм·дм^2/кгс·с.

Влияние содержания азота и летучих веществ отражается эмпирическими зависимостями:

$$\frac{\Delta u_1}{u_1} = 0{,}285\Delta N; \quad \frac{\Delta u_1}{u_1} = -0{,}12\Delta H,$$

где ΔN и ΔH — изменение содержания азота и летучих веществ в порохе в процентах.

Эмпирическая зависимость для пироксилиновых порохов предложена Г. П. Киснемским

$$u_1 = 0{,}0000120 - 0{,}0000010H.$$

Важной баллистической характеристикой пороха, связывающей скорость (u_1) горения с толщиной горящего свода ($2e_1$), является *импульс пороха* $I_к$ — импульс давления пороховых газов за время горения пороха. Он определяется путем обработки опытной кривой зависимости давления от времени, полученной при сжигании пороха в манометрической бомбе, по выражению

$$I_к = \int_0^{t_к} p dt.$$

При законе скорости горения $u = Ap = u_1 p$

$$I_к = \frac{e_1}{u_1}, \qquad (12.4.1)$$

где e_1 — половина толщины горящего свода.

Характер практического использования зависимости (12.4.1) показан в параграфе (4.4).

12.5. МАРКИ ПОРОХОВ

Условные обозначения пороха, характеризующие его природу, форму и размеры пороховых зерен, а также особенности технологического процесса изготовления, называются маркой пороха. В патронах стрелкового оружия Советской Армии применяются следующие марки порохов:

П-45, П-125 — пористые пороха трубчатой формы. Числа обозначают примерное количество (в процентах) калиевой селитры (KNO_3), вводимой в пороховую массу (сухой пироксилин) в процессе фабрикации пороха;

Х (Пл10-12) — холостой порох пластинчатой формы. Первое число означает толщину пластинки (горящего свода) в сотых долях миллиметра (в среднем 0,1 мм), а второе — длину (ширину) пластинки в десятых долях миллиметра (в среднем 1,2 мм);

ВТ — винтовочный порох трубчатой формы, флегматизированный и обработанный графитом;

ВУфл — винтовочный порох уменьшенных размеров, флегматизированный и графитованный;

ВТЖ — холостой порох трубчатой формы, опыленный графитом, с уменьшенным количеством летучих веществ;

4/7, 5/7 н/а — семиканальный порох с толщиной горящего свода 4 и 5 десятых долей миллиметра. Буквы означают, что порох изготовлен из низкоазотистого пироксилина.

Иногда пороха имеют особые обозначения, например:

св — порох изготовлен из свежего пироксилина;

пер — порох получен переделкой старых порохов;

н — нитроглицериновый порох;

нц — нитроглицериновый порох с увеличенным содержанием церезина для уменьшения температуры горения («холодный порох»);

нф — нитроглицериновый порох с содержанием дибутилфталата для уменьшения температуры горения;

в/в (уф) — порох изготовлен по регламенту военного времени (по ускоренной фабрикации) и др.

Полная марка пороха содержит, кроме того, номер партии, год изготовления и шифр или номер завода-изготовителя, например,

$$\text{ВТ}\ \frac{4}{58}\ \text{Т},$$

что означает винтовочный порох, 4-я партия, 1958 г., завод «Т».

Таблица 25

Размеры зерен и содержание летучих веществ некоторых порохов

Патрон	Марка пороха	Размеры зерен, мм			Содержание летучих, %		
		$2e_1$	$d_{кан}$	l	общее	удаляемых	неудаляемых
9-мм пистолетный	П-125	0,30—0,40	0,10—0,20	⩾1,1	2	1,0—1,8	0,2
7,62-мм пистолетный, револьверный и холостой обр. 1943 г.	П-45	0,27—0,37	0,10—0.20	⩾1,3	1,8	1,0—1,6	0,2
Холостой винтовочный	Х (Пл. 10—12)	0,08—0,16	0,8—1,3 (ширина)	0,8—1.3	2,0	1,0	0,2
Обр. 1943 г.	ВУфл	0,20—0,25	0,07—0,15	0,85—1,25	3,2	1,0—1,6	0,7
Винтовочный	ВТ	0,30—0,35	0,1—0,2	1,7—2,0	3,3	1,0—1,8	1,0
Холостой 14,5-мм	ВТЖ	0,30—0,35	0,1—0,2	1,7—2,0	1,8	0,5—1,2	0,2—0,6
12,7-мм	4/7	0,5—0,6	0,15—0,25	2,5—3,5	3,5	1,0—1,8	0,6
14,5-мм	5/7 н/а	0,4—0,5	0,15—0,25	2,9—3,8	3,3	1,0—1,8	0,6

В табл. 25 приведены размеры пороховых зерен и содержание летучих для некоторых марок порохов.

Глава 13

КАПСЮЛИ-ВОСПЛАМЕНИТЕЛИ

13.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КАПСЮЛЯХ-ВОСПЛАМЕНИТЕЛЯХ

Капсюли-воспламенители получили широкое применение в огнестрельном оружии как средство воспламенения пороховых зарядов в патронах, разрывных и пиротехнических составов в специальных пулях и в других целях. В зависимости от назначения капсюли-воспламенители делятся на два класса:

патронные капсюли-воспламенители;

трубочные капсюли-воспламенители.

Патронные капсюли-воспламенители предназначаются для воспламенения пороховых зарядов в патронах стрелкового, спортивно-охотничьего оружия и малокалиберных автоматических пушек, пороховых зарядов в капсюльных втулках и запальных трубках, а также для воспламенения замедлителей некоторых образцов боеприпасов (ручных и ружейных гранат, пороховых трубок и взрывателей). Воспламенение порохового заряда или замедлительного состава производится в результате динамического сжатия ударного состава капсюля-воспламенителя бойком ударного механизма на наковальне. В этом смысле патронные капсюли-воспламенители называют еще *ударными* капсюлями.

Трубочные капсюли-воспламенители предназначаются для воспламенения пороховых составов дистанционных трубок, усилителей, замедлителей и непосредственно капсюлей-детонаторов взрывателей, запалов ручных гранат, противотанковых и противопехотных мин и зарядов специальных пуль. Действие трубочных капсюлей-воспламенителей, в отличие от патронных капсюлей-воспламенителей, производится в результате накола ударного состава капсюля острым жалом ударного механизма. В этом смысле трубочные капсюли-воспламенители называют еще *накольными* капсюлями.

К капсюлям-воспламенителям предъявляются следующие основные технические требования:

безотказность действия капсюля при ударе бойка или жала, что зависит от чувствительности капсюля. Для ударных капсюлей-

воспламенителей чувствительность в среднем находится в пределах порядка 0,05—0,10 кгс·м, а накольных капсюлей — в десять раз меньше;

безотказность воспламенения пороха или капсюля-детонатора;

однообразие действия капсюля по силе и времени срабатывания, обеспечивающее постоянство баллистических свойств оружия или своевременность действия боеприпасов;

соответствие чертежным размерам с достаточной точностью, обеспечивающее нормальное функционирование капсюлей в изделиях;

стойкость к сотрясениям при выстреле;

безопасность в служебном обращении и в процессе производства;

стойкость при хранении, т. е. постоянство физико-химических свойств капсюльного состава и механических свойств колпачка при режиме хранения;

простота в изготовлении, дешевизна и недефицитность исходных материалов.

13.2. СХЕМЫ ПАТРОННЫХ КАПСЮЛЕЙ-ВОСПЛАМЕНИТЕЛЕЙ

Существуют две разновидности схем (конструкций) патронных капсюлей-воспламенителей: капсюли с собственной наковальней и капсюли без наковальни. В первом случае в средствах их использования, например, в капсюльном гнезде гильзы, не требуется наковальня, а во втором — требуется.

Капсюли-воспламенители без наковальни имеют обычно однотипную конструкцию (рис. 151), отличающуюся размерами в зависимости от мощности. Они представляют собой цельнотянутый металлический колпачок *1*, в который запрессован чувствительный к удару состав *3*, закрытый подпрессованным к нему покрытием из металлической фольги или пергамента. Внутренняя поверхность колпачка для лучшего закрепления ударного состава и устранения его взаимодействия с металлом лакируется предварительно шеллачно-спиртовым лаком. Ударный состав составляется по специальному рецепту и запрессовывается в колпачок под определенным давлением, предусмотренным техническими условиями.

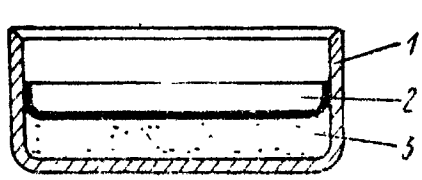


Рис. 151. Схема патронного капсюля-воспламенителя без наковальни:
1 — колпачок; *2* — покрытие; *3* — ударный состав

Покрытие в виде фольгового, пергаментного или бумажного кружка с обращенной к составу стороны лакируется шеллачно-канифольным спиртным лаком для лучшего сцепления его с составом. Иногда покрытие, особенно пергаментное, лакируется и с

наружной стороны. Бумажные кружки с наружной стороны парафинируются.

Суммарную толщину покрытия, толщину ударного состава и толщину дна колпачка называют толщиной или высотой ударного состава. Она учитывается при сопряжении капсюля с капсюльным гнездом и изменению не подлежит. При необходимости увеличить дозу ударного состава (такой случай может быть при изменении рецептуры) его располагают по периферии колпачка за счет фигурного пуансона прессовки.

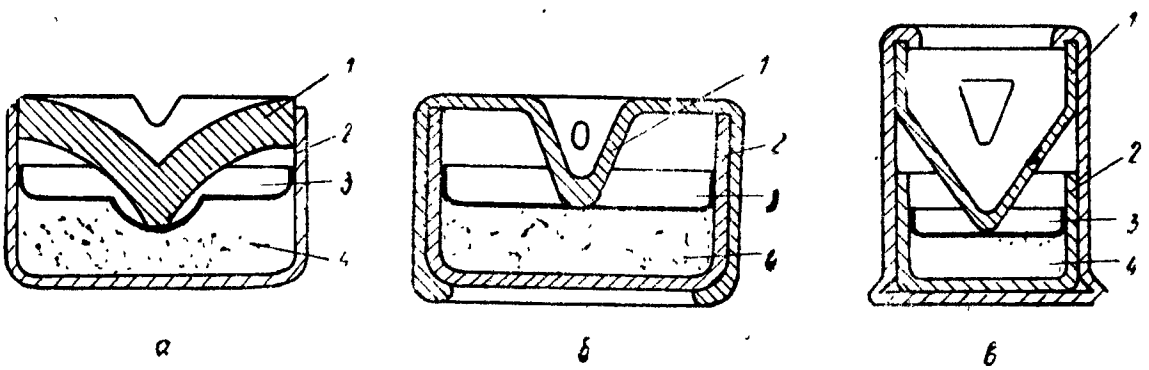


Рис. 152. Схемы патронных капсюлей-воспламенителей с наковальней:
а — капсюль Праймера; *б* — капсюль Норденфельда; *в* — капсюль Жевело; *1* — наковальня; *2* — колпачок; *3* — покрытие; *4* — ударный состав

Схемы *капсюлей-воспламенителей с собственной наковальней* могут быть различны. Некоторые из них представлены на рис. 152. Все они содержат в том или ином конструктивном оформлении наковальню, усложняющую в какой-то мере конструкцию капсюля.

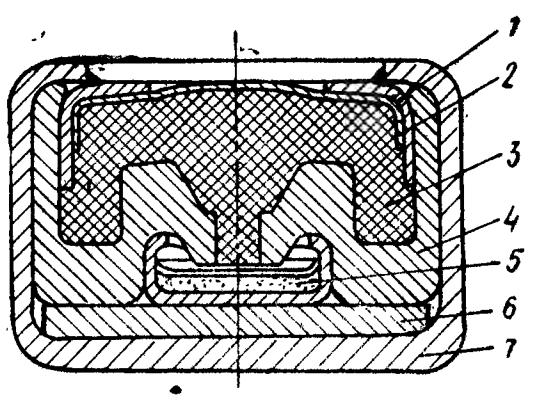


Рис. 153. Схема капсюля-воспламенителя № 3:
1 — чашечка обтюрирующая; *2* — чашечка; *3* — воспламенительный состав; *4* — наковальня; *5* — капсюль; *6* — кружок; *7* — оболочка

На рис. 153 представлена схема капсюля-воспламенителя, применяемого в 23-мм патронах. Она отличается наличием усилителя мощности капсюля воспламенительным составом и вследствие этого более сложной конструкцией.

13.3. СХЕМЫ ТРУБОЧНЫХ КАПСЮЛЕЙ-ВОСПЛАМЕНИТЕЛЕЙ

Схемы трубочных капсюлей-воспламенителей разнообразны в зависимости от конкретного назначения (рис. 154).

Типичный трубочный капсюль-воспламенитель, состоящий из колпачка, в котором запрессован ударный (наклонный) состав, закрытый сверху фольговой чашечкой, представлен на рис. 154, *а*. Дно такого капсюля должно быть надежно пробито при взрыве ударного состава, поэтому оно должно быть недостаточно прочным. С этой целью колпачок делается достаточно тонким из отожженной меди. Для предохранения от окисления и для защиты от взаимодействия с ударным составом в мирное время колпачки покрывают электролитическим никелем, а в военное время — лаком.

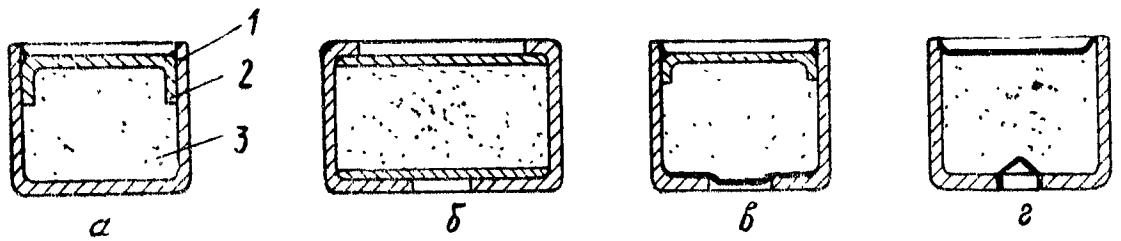


Рис. 154. Схемы трубочных капсюлей-воспламенителей:
а — с закрытой чашечкой; *б* — с фольговыми кружками и отверстием в дне колпачка; *в* — с фольговой чашечкой вверху и с фольговой тарелочкой внизу; *г* — с лакированными поверхностями ударного состава; *1* — колпачок; *2* — фольговая чашечка; *3* — ударный состав

Фольговая чашечка изготовляется из никелированной красной меди. Для обеспечения достаточной чувствительности капсюля толщина чашечки делается тонкой, порядка от 0,06 до 0,14 мм в зависимости от требований чувствительности. Для герметизации капсюля сопряжение чашечки с внутренними стенками колпачка покрывают густым шеллачно-канифольным лаком.

Схема капсюля-воспламенителя, ударный состав которого закрыт сверху не чашечкой, а фольговым кружком, завальцованным краем оболочки (колпачка), представлена на рис. 154, *б*. Этим самым достигается прочность конструкции капсюля и стойкость к сотрясениям при выстреле. Для надежности пробития дна колпачка при взрыве ударного состава оно имеет отверстие, закрытое другим (нижним) фольговым кружком. Такая схема позволяет обеспечить необходимые требования к капсюлю-воспламенителю по прочности, чувствительности и надежности.

Аналогичная схема капсюля-воспламенителя с отверстием в дне колпачка, закрытым фольговым кружком в виде тарелочки, представлена на рис. 154, *в*.

С целью обеспечения высокой чувствительности капсюля иногда схема не содержит фольговых чашечек и кружков (рис. 154, *г*). Поверхности ударного состава покрываются лаком.

13.4. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ КАПСЮЛЕЙ

Для изготовления колпачков капсюлей применяются материалы, удовлетворяющие ряду требований; возможность обработки давлением в холодном состоянии (штамповкой); сочетание высокой пластичности с твердостью, обеспечивающее чувствительность капсюля без прорыва дна колпачка при ударе бойка и давлением пороховых газов при выстреле; стойкость против быстрого старения и самопроизвольного растрескивания, вызывающих прорыв капсюлей при выстреле; отсутствие по возможности взаимодействия с компонентами ударных составов или в крайнем случае возможность предохранения этого взаимодействия простейшими покрытиями (лакирование, никелирование и др.).

Для изготовления колпачков патронных капсюлей-воспламенителей могут применяться латунь, медь, томпак или железо (сталь с малым содержанием углерода). Эти материалы применяются в виде тонко прокатанных лент, обладающих определенными механическими свойствами, обеспечивающими изготовление колпачков штамповкой, необходимую чувствительность капсюля к удару и прочность его при разбитии и при выстреле.

Широкое применение для колпачков военных патронных капсюлей получила латунь Л68, содержащая 67,0—70,0% меди и 33,0—30,0% цинка. Вместо цинка допускается содержание до 0,3% никеля. Общее количество примесей не должно превышать 0,2%, в том числе не более 0,1% железа, 0,03% свинца, 0,005% фосфора, мышьяка. Сурьмы и серы допускаются только следы, а висмута вообще не допускается. Временное сопротивление должно быть в пределах $\sigma_в = 34 \div 42$ кгс/мм², а относительное удлинение δ 30%. Латунь в присутствии влаги взаимодействует с гремучей ртутью ударных составов, поэтому латунные колпачки покрывают спиртовым шеллачным лаком и хорошо сушат.

Медь применяется для колпачков капсюлей охотничьих и минометных патронов и капсюльных втулок, а также для оболочек трубочных капсюлей. В трубочных капсюлях допускается разрушение колпачка при выстреле. Вследствие небольшой прочности меди применение ее рационально для капсюлей высокой чувствительности. Примесей допускается не более 0,5%, в том числе висмута не более 0,003% и сурьмы 0,005%. Медь также взаимодействует в присутствии влаги с гремучертутным ударным составом, поэтому медные колпачки для ответственных изделий в мирное время покрывают никелем, а в военное время — лаком с последующей выдержкой при высоких температурах. Колпачки капсюлей шомпольных охотничьх ружей и латунных охотничьих гильз всегда изнутри лакируются без никелирования.

Томпак в отдельных случаях используется главным образом в качестве заменителя при изготовлении латунных и медных колпачков, а железо получило некоторое применение при изготовлении колпачков охотничьих капсюлей-воспламенителей. Железные кап-

сюли-воспламенители применялись в германской армии во вторую мировую войну, возможно их применение для боевого оружия и в настоящее время. Железо для колпачков патронных капсюлей-воспламенителей должно содержать примесей не более, %: углерода 0,09; марганца 0,15; кремния 0,10; серы 0,01; меди, фосфора 0,02. Железные колпачки необходимо защищать от коррозии, для чего используется меднение, латунирование или лакирование.

Толщина материала для колпачков патронных капсюлей находится обычно в пределах от 0,4 до 0,9 мм в зависимости от назначения и мощности капсюля.

В качестве покрытия для ударного состава в патронных капсюлях-воспламенителях применяют кружки из тонкой металлической фольги. Чаще всего применяют оловянистую фольгу с добавкой 2—3% сурьмы для большей твердости. Иногда применяют также свинцовую фольгу, плакированную сверху слоем олова (10—18% от общего веса). В качестве заменителя металлической фольги применяют также растительный пергамент или бумагу. Фольговые или пергаментные кружки для покрытия обычно имеют толщину порядка 0,05—0,08 мм в зависимости от мощности применяемого капсюля. Поверхность фольгового кружка, обращенную к ударному составу, покрывают лаком для лучшего сцепления.

Для покрытий в трубочных капсюлях применяют фольгу из никелированной красной меди, как более прочную для сохранения ударного состава при служебном обращении и тряске и достаточно тонкую для обеспечения необходимой чувствительности капсюлей наколу (0,06—0,14 мм).

13.5. УДАРНЫЕ (НАКОЛЬНЫЕ) СОСТАВЫ

Качество и количество ударного состава должно обеспечивать назначение капсюля с необходимой воспламеняющей (детонирующей) способностью. К ударным составам предъявляется ряд технических требований:

достаточная чувствительность к удару или наколу, обеспечивающая безотказное действие капсюля;

необходимая безопасность в служебном обращении с боеприпасами;

необходимая воспламеняющая способность, обеспечивающая безотказное воспламенение порохового заряда без затяжных выстрелов и с получением нормальных баллистических данных оружия;

полное отсутствие взаимодействия между отдельными компонентами ударного состава и стойкость его при хранении;

отсутствие взаимодействия с металлическим колпачком капсюля;

отсутствие вредного действия продуктов разложения ударного состава на поверхность канала ствола для обеспечения необходимой живучести оружия.

Перечисленные технические требования обеспечиваются путем рационального подбора рецептуры ударного состава — инициирующего взрывчатого вещества (основа) и регулирующих примесей.

К примесям относятся:

горючее вещество, которое, сгорая, повышает температуру пламени и создает необходимый луч огня, содержащий твердые раскаленные частицы;

окислитель, обеспечивающий полноту сгорания компонентов состава.

В зависимости от технических условий в ударные составы могут входить: сенсибилизаторы, повышающие чувствительность ударного состава к удару или наколу; флегматизаторы, понижающие чувствительность ударного состава; связывающие вещества, улучшающие сыпучесть состава и обеспечивающие этим самым дозирование состава не по весу, а по объему в целях повышения производительности процесса дозировки.

Широкое применение получили гремучертутнохлоратные составы из трех компонентов; гремучей ртути $Hg(ONC)_2$ (инициатор), хлората калия $KClO_3$ (окислитель) и антимонита Sb_2S_3 (горючее). В зависимости от технических требований изменяются лишь их процентное соотношение и величина зерна. Рецептуры некоторых ударных составов приведены в табл. 26.

Таблица 26

Рецептуры ударных составов, %

Капсюли-воспламенители	$Hg(ONC)_2$	$KClO_3$	Sb_2S_3
Револьверного патрона	25,0	37,5	37,5
Винтовочного патрона	16,0	55,5	28,5
Патрона минометных выстрелов	35,0	40,0	25,0
Капсюльных втулок	25,0	37,5	37,5
Пистолетного и винтовочного патронов (германские)	22,5	40,0	37,5*
Трубочные	25,0	37,5	37,5
Трубочные	28,0	36,0	36,0
Трубочные	50,0	25,0	25,0**
Капсюль Жевело	50,0	33,0	17,0
Малокалиберного патрона	50,0	30,0	20,0

* В составе антимонита содержится измельченное стекло

** Антимонит гранулирован 4%-ным шеллачным лаком.

Гремучертутнохлоратные ударные составы с антимонитом достаточно чувствительны к ударам, относительно безопасны в обращении, дают необходимый луч огня, стойки при хранении, что проверено длительным сроком их применения, просты в изготовлении и сравнительно дешевы.

К их недостатку относится взаимодействие с металлом колпачков, что требует специальных защитных покрытий (лакирования, никелирования). Продукты их разложения действуют на поверхность канала ствола, уменьшая живучесть оружия. При сгорании ударного состава образуются газообразные, парообразные и твердые продукты. К последним относятся хлорид калия KCl и перекись сурьмы Sb_2O_3, которые сопутствуют образованию в результате вторичных реакций сульфитов и сульфатов калия K_2SO_3 и K_2SO_4. Твердые частицы образуют нагар, приводят к коррозии и эрозии поверхности канала ствола, в результате этого уменьшается живучесть стволов.

Одним из средств борьбы с коррозией является замена гремучертутнохлоратных ударных составов другими составами — некорродирующими (неоржавляющими). В качестве инициаторов в таких составах применяют тринитрорезорцинат свинца $C_6H(NO_2)_3O_2PbH_2O$ или динитродиазофенол $C_6H_2(NO_2)ON_2$.

Таблица 27

Рецептуры неоржавляющих ударных составов, %

Компоненты	Варианты рецептур							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Диазодинитрофенол	—	—	—	—	—	—	—	16,5
Динитрорезорцинат свинца	—	—	50	—	—	—	—	—
Тринитрорезорцинат свинца	50	30	—	38,5	40	25	11,2	18,7
Тетразен	1,5*	1,5*	2*	3	—	1,5	2,3	—
Нитрат бария	45	49	40	38,5	35	45	73,6	44,8
Двуокись свинца	—	—	—	—	5	—	—	—
Силицид кальция	—	—	—	—	20	5,5	—	—
Алюминий	5	—	10	—	—	—	4,8	—
Цирконий	—	21	—	—	—	23	—	—
Антимонит	—	—	—	10	—	—	8,1	20,0
Ферросилиций	—	—	—	10	—	—	—	—

* Сверх 100%.

Эти вещества позволяют добиться хорошей воспламеняющей способности капсюлей. Недостаточная чувствительность к удару вызывает необходимость введения в состав сенсибилизатора (тетразена $C_2H_8ON_{10}$) в количестве 1—3%. В качестве окислителя применяется часто нитрат бария, а в качестве горючего — антимонит, алюминий, цирконий, ферросилиций и др. Некоторые рецептуры неоржавляющих ударных составов приведены в табл. 27.

Дозы ударного состава в патронных капсюлях-воспламенителях находятся в пределах от 0,02 до 0,13 г в зависимости от мощности капсюля. В трубочных капсюлях доза составляет в среднем 0,13 г (у мощных до 0,2 и маломощных до 0,03 г). Давление прессования состава обычно достигает 1100—1400 кгс/см², что обеспечивает необходимую прочность дозы состава и достаточную чувствительность к удару.

13.6. ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ КАПСЮЛЕЙ К УДАРУ И НАКОЛУ

Чувствительность патронных капсюлей-воспламенителей к удару зависит: от чувствительности инициатора в составе; от процентного соотношения компонентов; от степени измельчения компонентов, запрессовки (величины давления прессования) состава; от толщины дна колпачка и покрытия, механических качеств материала колпачка и покрытия, глубины посадки капсюля в капсюльное гнездо; от формы и размеров наковальни; от формы, размеров и выхода бойка, кинетической энергии бойка, зависящей от силы боевой пружины.

Из-за большого количества факторов, влияющих на чувствительность, надежной оценкой и анализом ее может быть только опытное определение, которое производится на специальных копрах. Чувствительность каждого сорта капсюлей характеризуют верхним и нижним пределом чувствительности.

Нижним пределом чувствительности (пределом безопасности) считают ту максимальную высоту, при падении с которой груза определенного веса на капсюль еще не происходит воспламенения капсюля. Предел безопасности не допускает воспламенения капсюлей в процессе их производства, транспортировки, производства и применения патронов в условиях значительных сотрясений.

Верхним пределом чувствительности (пределом безотказности) считают минимальную высоту, при падении с которой такого же груза все капсюли безотказно воспламеняются. Предел безотказности не допускает отказов в действии капсюлей при минимальной силе боевой пружины в оружии.

Для испытания капсюли вставляются в гильзы, удовлетворяющие чертежам и техническим условиям на валовые гильзы. Бойки для разбития капсюлей также должны удовлетворять требованиям чертежей и ТУ. Для проведения опытов груз устанавливается на верхнем или на нижнем пределе высоты по техническим условиям.

При разработке новых капсюлей-воспламенителей или при изменении материалов и технологии изготовления существующих капсюлей, а также периодически для контроля строят кривые чувствительности (рис. 155, *а*). Опыты проводят при установке груза на различных высотах, в пределах нижнего и верхнего пределов. Для каждой высоты испытывается одинаковое количество капсюлей, например 100 шт. Верхний и нижний пределы грузов закрепляют двойным количеством испытываемых капсюлей. По полученным данным строится график с координатами высота падения груза — процент воспламенения капсюлей.

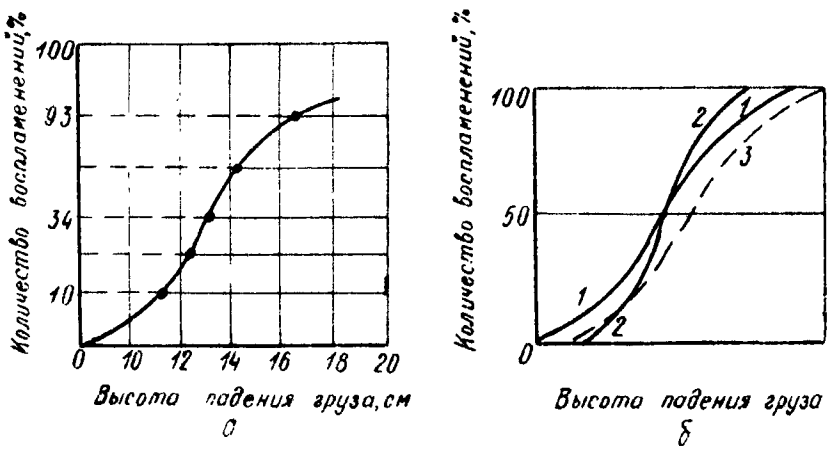


Рис. 155. Кривая чувствительности капсюлей (а) и график изменения чувствительности капсюлей (б)

Кривые чувствительности являются средством производственного контроля качества капсюлей и технологии их изготовления. Допустим, имели кривую чувствительности *1* (см. рис. 155, *б*), а при контроле получили кривую *2*. Это значит, что пределы падения груза сузились, точность изготовления капсюлей повысилась при той же средней чувствительности. Если бы получили кривую *3*, то могли бы сделать заключение, что точность изготовления не изменилась, но чувствительность капсюлей снизилась, так как кривая сместилась в сторону больших высот падения груза. Таким образом, можно делать заключения о качестве капсюлей и возможных мерах изменения технологии их изготовления.

Кривые чувствительности капсюлей строят для каждой десятой партии, но не реже одного раза в месяц. При повседневных контрольных испытаниях капсюлей-воспламенителей ограничиваются определением верхних и нижних пределов. Нормы устанавливаются техническими условиями.

Например, для капсюлей винтовочных патронов установлен груз 307±1 гс, нижний предел с допускаемым количеством воспламенений капсюлей до 0,5% принят равным 10 см, а верхний предел с числом допускаемых осечек 0,5% — 35 см. Для испытания капсюлей крупнокалиберных патронов принят тот же груз, а крайние пределы равны соответственно 10 и 45 см.

Аналогичным образом определяется чувствительность трубочных капсюлей-воспламенителей, только в качестве бойка используется стандартное жало (рис. 156), изготовленное из незакаленной стали с содержанием углерода 0,8—1,2%, с твердостью *HRC* 84—88. В качестве копра используется электрокопер, который удерживает груз на установленной высоте и опускает его электромагнитом.

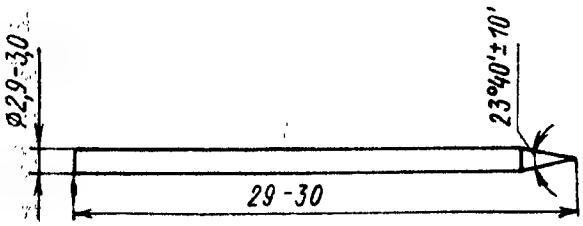


Рис. 156. Стандартное жало для испытания капсюлей по наколу

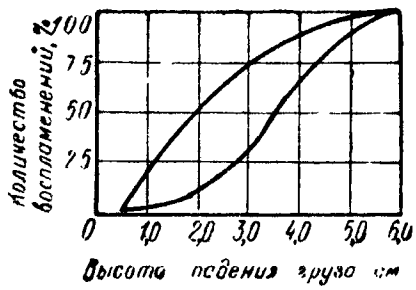


Рис. 157. Пучок кривых чувствительности трубочных капсюлей-воспламенителей

На чувствительность к наколу обычно испытывается по 100 капсюлей-воспламенителей для каждого предела высоты. Требования к чувствительности трубочных капсюлей к наколу обычно таковы: вес груза 200 гс, нижний предел высоты 0,5 см, верхний предел 4—6 см с числом допускаемых воспламенений (отказов) до 1%.

Кроме определения пределов чувствительности для трубочных капсюлей-воспламенителей определяются также кривые чувствительности в соответствии с техническими условиями. Эти кривые сравниваются с пучком кривых (рис. 157), помещенных в технических условиях на данную марку капсюлей-воспламенителей.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

ЗНАЧЕНИЯ ОСНОВНЫХ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ, ПОПРАВОЧНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ, ДАВЛЕНИЯ ПОРОХОВЫХ ГАЗОВ, СКОРОСТИ ПУЛИ И ПОПРАВОК К НИМ, КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ РАСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЛЬ

($Д$, м; v, м/с; p, кгс/см^2)

Таблица 1

Значения основных функций

$Д(v)$	$I(v)$	$T(v)$	v	$Д(v)$	$I(v)$	$T(v)$	v
3000	0,0217785	1,81452	1382,3	5000	0,0483475	3,45602	1078,4
3100	228181	88731	1365,3	5100	500561	54932	1064,9
3200	238836	96101	1348,6	5200	518086	64383	1051,4
3300	249757	2,03562	1332,1	5300	536060	73955	1038,1
3400	260952	11115	1315,8	5400	554498	83648	1025,0
3500	272425	18761	1299,7	5500	573415	93966	1011,9
3600	284186	26503	1283,7	5600	592826	4,03413	999,0
3700	296242	34341	1268,0	5700	612743	13489	986,2
3800	308598	42276	1252,4	5800	633181	23694	973,5
3900	321262	50309	1237,0	5900	654156	34034	960,9
4000	334244	58444	1221,8	6000	675685	44509	948,4
4100	347550	66680	1206,8	6100	697787	55123	936,0
4200	361191	75018	1191,9	6200	720478	65876	923,8
4300	375176	83460	1177,2	6300	743777	76774	911,6
4400	389511	92008	1162,6	6400	767704	87817	899,5
4500	404208	3,00664	1148,2	6500	792280	99008	887,6
4600	419278	09429	1134,0	6600	817520	5,10531	875,7
4700	434729	18303	1119,9	6700	843450	21848	864,0
4800	450572	27289	1105,9	6800	870090	33501	853,4
4900	0,0466816	3,36388	1092,1	6900	0,0897470	5,45314	840,7

Д (*v*)	*I* (*v*)	*T* (*v*)	*v*	*Д* (*v*)	*I* (*v*)	*T* (*v*)	*v*
7000	0,092561	5,57291	829,2	10600	0,277552	11,3240	473,7
7100	095455	69434	817,9	10700	286451	5370	465,4
7200	098430	81746	806,6	10800	295671	7538	457,2
7300	101487	94232	795,4	10900	305227	9744	449,1
7400	104631	6,06894	784,3	11000	315134	12,1991	441,1
7500	107866	19735	773,3	11100	325402	4279	433,2
7600	111194	32757	762,4	11200	336049	6608	425,4
7700	114618	45968	751,6	11300	347089	8980	417,8
7800	118142	59371	740,8	11400	358537	13,1396	410,2
7900	121770	72967	730,2	11500	370408	3856	402,8
8000	125504	86762	719,6	11600	382723	6362	395,6
8100	129350	7,00762	709,1	11700	395495	8913	388,4
8200	133311	14970	698,7	11800	408737	14,1511	381,5
8300	137390	29390	688,4	11900	422467	4156	374,7
8400	141592	44027	678,1	12000	436697	6849	368,1
8500	145923	58885	668,0	12100	45144	9590	361,7
8600	150389	73970	657,9	12200	46670	15,2379	355,5
8700	154992	89285	647,9	12300	48249	5216	349,6
8800	159737	8,04839	638,0	12400	49881	8100	344,0
8900	164631	20635	628,2	12500	51566	16,1031	338,7
9000	169681	36678	618,4	12600	53302	4005	333,8
9100	174892	52974	608,8	12700	55088	7023	329,2
9200	180270	69530	599,2	12800	56923	17,0080	325,0
9300	185823	86354	589,7	12900	58803	3176	321,1
9400	191557	9,03450	580,3	13000	60727	6308	317,6
9500	197480	20825	570,9	13100	62091	9471	314,5
9600	203600	38487	561,6	13200	64694	18,2665	311,6
9700	209924	56440	552,5	13300	66733	5889	308,8
9800	216460	74691	543,4	13400	68808	9142	306,1
9900	223216	93249	534,4	13500	70920	19,2422	303,5
10000	230203	10,1212	525,4	13600	73068	5731	301,0
10100	237431	3132	516,6	13700	75251	9068	298,5
10200	244911	5084	507,8	13800	77472	20,2431	296,1
10300	252652	7071	499,2	13900	79728	5822	293,7
10400	260664	9091	490,6	14000	82020	9240	291,4
10500	0,268961	11,1148	482,1	14100	0,84349	21,2685	289,1

$Д(v)$	$I(v)$	$T(v)$	v	$Д(v)$	$I(v)$	$T(v)$	v
14200	0,86716	21,6157	286,8	17800	2,00655	36,0319	219,0
14300	89119	9656	284,6	17900	04776	4903	217,4
14400	91560	22,3183	282,4	18000	08958	9521	215,8
14500	94039	6738	280,3	18100	13204	37,4142	214,2
14600	96559	23,0321	278,2	18200	17514	8859	212,6
14700	99112	3930	276,0	18300	21889	38,3582	211,0
14800	1,01706	7567	274,0	18400	26329	8341	209,4
14900	04340	24,1232	271,9	18500	30835	39,3134	207,9
15000	07014	4923	269,9	18600	35409	7963	206,3
15100	09729	8642	267,8	18700	40052	40,2828	204,8
15200	12486	25,2389	265,8	18800	44764	7729	203,3
15300	15283	6166	263,9	18900	49548	41,2667	201,8
15400	18121	9971	261,9	19000	54404	764	200,3
15500	21002	26,3804	260,0	19100	59334	42,265	198,8
15600	23927	7665	258,0	19200	64336	770	198,3
15700	26296	27,1555	256,1	19300	69413	43,279	195,9
15800	29909	5474	254,2	19400	74567	792	194,4
15900	32967	9922	252,3	19500	79799	44,308	192,9
16000	36072	28,3400	250,4	19600	85111	828	191,5
16100	39224	7408	248,6	19700	90503	45,353	190,1
16200	42423	29,1445	246,7	19800	95975	881	188,7
16300	45669	5513	244,9	19900	3,01527	46,413	187,3
16400	48964	9611	243,1	20000	07160	949	185,9
16500	52309	30,3740	241,3	20100	12880	47,489	184,5
16600	55706	7900	239,5	20200	18688	48,033	183,1
16700	59153	31,2092	237,7	20300	24582	581	181,8
16800	62651	6315	236,0	20400	30564	49,133	180,4
16900	66202	32,0568	234,2	20500	36636	690	179,1
17000	69806	4853	232,4	20600	42800	50,250	177,7
17100	73464	9171	230,7	20700	49057	815	176,4
17200	77177	33,3521	229,0	20800	55407	51,384	175,1
17300	80945	7904	227,3	20900	61854	957	173,8
17400	84771	34,2320	225,6	21000	68398	52,534	172,5
17500	88654	6770	224,0	21100	75039	53,116	171,2
17600	92594	35,1252	222,3	21200	81780	702	170,0
17700	1,95594	5769	220,6	21300	3,88621	54,293	168,7

$Д(v)$	$I(v)$	$T(v)$	v	$Д(v)$	$I(v)$	$T(v)$	v
21400	3,95565	54,888	167,5	24300	6,4939	74,220	134,9
21500	4,02613	55,487	166,2	24400	6025	964	133,9
21600	09768	56,091	165,0	24500	7128	75,714	132,9
21700	17031	700	163,7	24600	8247	76,469	131,9
21800	24405	57,313	162,5	24700	9383	77,230	130,9
21900	31886	930	161,3	24800	7,0536	997	130,0
22000	39478	58,552	160,1	24900	1706	78,769	129,0
22100	47183	59,179	158,9	25000	2893	79,577	128,0
22200	55005	810	157,8	25100	4099	80,331	127,1
22300	62945	60,447	156,6	25200	5323	81,120	126,2
22400	71006	61,088	155,4	25300	6565	916	125,2
22500	79190	734	154,3	25400	7826	82,718	124,3
22600	87498	62,284	153,1	25500	9105	83,526	123,4
22700	95931	63,040	152,0	25600	8,0404	84,339	122,4
22800	5,04490	700	150,9	25700	1723	85,159	121,5
22900	13174	64,366	149,7	25800	3061	985	120,6
23000	21981	65,036	148,6	25900	4420	86,817	119,7
23100	30934	711	147,5	26000	5798	87,655	118,8
23200	40017	66,392	146,4	26100	7198	88,500	118,0
23300	49237	67,077	145,4	26200	8618	89,351	117,1
23400	58593	768	144,3	26300	9,0060	90,208	116,2
23500	68090	68,463	143,2	26400	1524	91,072	115,4
23600	77731	69,165	142,1	26500	3009	942	114,5
23700	85517	871	141,1	26600	4517	92,818	113,6
23800	9745	70,582	140,0	26700	6047	93,701	112,8
23900	6,0753	71,299	139,0	26800	7601	94,591	112,0
24000	1776	72,021	138,0	26900	9177	95,488	111,1
24100	2815	749	136,9	27000	10,0778	96,391	110,3
24200	6,3869	73,482	135,9				

Таблица 2

Значения вспомогательных функций

$$f_0 = c' \sin 2\theta_0$$

$c'X$	v_0								
	1200	1175	1150	1125	1100	1075	1050	1025	1000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
250	0,00174	0,00181	0,00189	0,00198	0,00207	0,00217	0,00237	0,00239	0,00252
500	00355	00370	00386	00404	00423	00443	00464	00488	00513
750	00544	00567	00592	00619	00649	00679	00712	00748	00785
1000	00741	00743	00808	00844	00884	00926	00971	01019	01071
1250	00947	00987	01033	01079	01130	01184	01242	01303	01371
1500	01162	01211	01268	01324	01387	01454	01525	01601	01685
1750	01338	01445	01513	01580	01656	01736	01821	01913	02014
2000	01622	01691	01770	01849	01937	02031	02132	02240	02358
2250	01868	01948	02039	02131	02232	02340	02458	02583	02720
2500	02125	02217	02320	02426	02541	02665	02799	02943	03100
2750	02394	02500	02614	02735	02865	03006	03158	03321	03499
3000	02676	02796	02923	03060	03206	03364	03535	03719	03918
3250	02972	03106	03247	03401	03564	03740	03931	04138	04360
3500	03282	03431	03587	03758	03940	04137	04349	04579	04827
3750	03608	03772	03945	04134	04336	04555	04789	05044	05320
4000	0,03951	0,04131	0,04322	0,04530	0,04753	0,04995	0,05254	0,5535	0,05840

$f_0 = c' \sin 2\theta_0$

$c'X$	v_0								
	1000	975	950	925	900	875	850	825	800
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	0,00200	0,00211	0,00222	0,00233	0,00246	0,00260	0,00275	0,00292	0,00312
400	00407	00429	00451	00475	00502	00531	00562	00597	00636
600	00621	00654	00688	00726	00768	00812	00860	00914	00973
800	00842	00886	00934	00986	01043	01104	01170	01243	01324
1000	01071	01127	01189	01256	01328	01407	01492	01585	01688
1200	01309	01378	01454	01537	01624	01722	01827	01941	02067
1400	01556	01639	01730	01828	01932	02049	02175	02311	02462
1600	01813	01910	02016	02130	02253	02389	02537	02697	02874
1800	02080	02192	02313	02444	02586	02742	02913	03099	03304
2000	02358	02485	02622	02771	02933	03110	03305	03518	03752
2200	02646	02789	02943	03111	03295	03495	03715	03956	04219
2400	02945	03105	03277	03465	03672	03896	04143	04413	04707
2600	03256	03434	03625	03835	04065	04314	04590	04891	05219
2800	03580	03777	03989	04221	04475	04751	05056	05390	05755
3000	03918	04134	04369	04625	04903	05207	05543	05912	06316
3200	04271	04507	04765	05047	05350	05684	06052	06458	06903
3400	04639	04896	05179	05487	05818	06183	06586	07030	07519
3600	05022	05302	05611	05946	06308	06707	07146	07631	08166
3800	05422	05727	06061	06425	06821	07256	07734	08262	08846
4000	0,05840	0,06171	0,06532	0,06926	0,07358	0,07832	0,08352	0,08926	0,09561

Продолжение табл. 2

$f_0 = c' \sin 2\theta_0$

$c'X$	v_0								
	800	780	760	740	720	700	680	660	640
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0,00155	0,00163	0,00172	0,00182	0,00192	0,00203	0,00215	0,00228	0,00243
200	00312	00329	00347	00366	00387	00409	00434	00461	00491
300	00472	00498	00525	00554	00585	00619	00657	00699	00744
400	00636	00670	00707	00746	00787	00834	00885	00941	01002
500	00803	00846	00892	00941	00994	01053	01117	01188	01265
600	00973	01024	01080	01141	01206	01277	01355	01440	01533
700	01147	01206	01272	01345	01422	01506	01598	01697	01807
800	01324	01392	01469	01553	01642	01739	01846	01960	02087
900	01504	01582	06070	01765	01867	01977	02098	02229	02370
1000	01688	01777	01875	01981	02096	02220	02355	02504	02668
1100	01876	01976	02085	02202	02330	02468	02618	02785	02968
1200	02067	02179	02299	02428	02569	02722	02888	03072	03274
1300	02262	02386	02517	02659	02813	02982	03165	03366	03588
1400	02462	02597	02740	02894	03062	03247	03448	03667	03909
1500	02666	02812	02967	03134	03317	03518	03737	03976	04238
1600	02874	03032	03199	03379	03578	03795	04033	04292	04575
1700	03087	03256	03436	03630	03845	04078	04335	04615	04920
1800	03304	03485	03678	03887	04118	04368	04644	04945	05273
1900	03526	03719	03926	04150	04397	04665	04960	05282	05635
2000	0,03752	0,03958	0,04179	0,04419	0,04682	0,04969	0,05283	0,05627	0,06006

Продолжение табл. 2

$c'X$	v_0								
	800	780	760	740	720	700	680	660	640
2100	0,03983	0,04203	0,04438	0,04695	0,04947	0,05270	0,05614	0,05981	0,06386
2200	04219	04453	04703	04977	05273	05598	05953	06344	06775
2300	04460	04709	04974	05265	05579	05924	06301	06716	07174
2400	04707	04970	05251	05559	05893	06258	06657	07097	07582
2500	04960	05237	05535	05860	06214	06600	07022	07487	08000
2600	05219	05510	05826	06168	06543	06950	07396	07887	08430
2700	05485	05790	06124	06484	06880	07309	07780	08298	08870
2800	05755	06077	06429	06808	07225	07677	08174	08720	09323
2900	06033	06371	06741	07140	07578	08054	08578	09153	09787
3000	06316	06672	07060	07481	07939	08441	08991	09596	10263
3250	07054	07457	07894	08367	08883	09451	10075	10759	1151
3500	07839	08293	08781	09309	09889	10528	1123	1200	1284
3750	08674	09178	09724	10315	10964	1168	1245	1332	1425
4000	0,09561	0,10119	0,10727	0,1139	0,1211	0,1290	0,1376	0,1472	0,1576

Продолжение табл. 2

$f_0 = c' \sin 2\theta_0$

$c'X$	v_0								
	640	620	600	590	580	570	560	550	540
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0,00243	0,00259	0,00277	0,00286	0,00296	0,00306	0,00317	0,00328	0,00341
200	00491	00523	00559	00578	00598	00619	00641	00664	00689
300	00744	00792	00848	00876	00906	00938	00972	01007	01045
400	01002	01068	01141	01180	01221	01264	01309	01357	01408
500	01265	01349	01441	01491	01543	01598	01655	01715	01779
600	01533	01636	01747	01809	01873	01940	02008	02081	02159
700	01807	01929	02062	02133	02210	02289	02370	02456	02549
800	02087	02229	02382	02465	02554	02645	02740	02841	02949
900	02374	02535	02710	02805	02905	03009	03119	03235	03359
1000	02668	02848	03046	03152	03265	03382	03507	03638	03779
1100	02968	03168	03390	03508	03633	03764	03904	04052	04209
1200	03274	03496	03742	03873	04011	04156	04311	04475	04649
1300	03588	03832	04102	04246	04399	04558	04729	04909	05100
1400	03909	04176	04471	04629	04796	04971	05157	05354	05562
1500	0,04238	0,04528	0,04848	0,05021	0,05203	0,05394	0,05596	0,05810	0,06036

Продолжение табл. 2

$c'X$	v_0								
	640	620	600	590	580	570	560	550	540
1600	0,04575	0,04889	0,05235	0,05423	0,05620	0,05828	0,06046	0,06278	0,06523
1700	04920	05259	05631	05835	06047	06272	06508	06757	07022
1800	05273	05638	06038	06257	06485	06727	06981	07249	07533
1900	05635	06026	06455	06689	06934	07193	07465	07753	08057
2000	06006	06423	06883	07132	07394	07670	07961	08269	08594
2200	06775	07247	07772	08051	08348	08659	08988	09341	09710
2400	07582	08113	08704	09018	09351	09698	10067	10470	10885
2600	08430	09025	09685	10035	10408	10797	1121	1166	1213
2800	09323	09986	10719	1111	1152	1196	1242	1291	1343
3000	10263	10998	1181	1224	1270	1318	1369	1423	1479
3200	1124	1206	1296	1344	1394	1447	1502	1561	1622
3400	1228	1318	1461	1469	1524	1582	1642	1705	1771
3600	1338	1436	1542	1600	1659	1723	1788	1855	1926
3800	1454	1560	1675	1737	1801	1869	1939	2011	2087
4000	0,1576	0,1690	0,1814	0,1880	0,1949	0,2021	0,2096	0,2173	0,2253

Продолжение табл. 2

$f_0 = c' \sin 2\theta_0$

$c'X$	v_0								
	540	530	520	510	500	490	480	470	460
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0,00341	0,00353	0,00366	0,00381	0,00397	0,00412	0,00429	0,00447	0,00468
200	00689	00713	00740	00770	00803	00834	00868	00906	00948
300	01045	01082	01123	01168	01218	01266	01319	01377	01440
400	01408	01460	01516	01577	01643	01710	01782	01860	01944
500	01779	01847	01919	01996	02078	02165	02257	02355	02461
600	02159	02243	02332	02425	02524	02631	02744	02862	02991
700	02549	02649	02754	02865	02982	03108	03242	03381	03534
800	02949	03065	03186	03315	03451	03597	03752	03913	04090
900	03359	03491	03629	03776	03932	04098	04274	04459	04660
1000	03779	03927	04083	04249	04425	04611	04809	05020	05245
1100	04209	04374	04548	04734	04930	05137	05358	05595	05845
1200	04649	04832	05024	05231	05448	05677	05922	06184	06460
1300	05100	05301	05512	05740	05979	06231	06500	06788	07091
1400	05562	05782	06014	06262	06523	06799	07093	07406	07737
1500	0,06036	0,06275	0,06528	0,06796	0,07080	0,07381	0,07700	0,08039	0,08399

Продолжение табл. 2

$c'X$	v_0								
	540	530	520	510	500	490	480	470	460
1600	0,06523	0,06781	0,07056	0,07345	0,07652	0,07978	0,08322	0,08688	0,09077
1700	07022	07300	07596	07907	08237	08590	08960	09353	09772
1800	07533	07832	08150	08485	08839	09217	09614	10035	10483
1900	08057	08378	08718	09077	09457	09860	10285	1073	1121
2000	08594	08937	09300	09684	10090	10519	1097	1145	1196
2200	09710	10099	10513	10950	1142	1190	1241	1294	1351
2400	10885	1132	1179	1227	1281	1334	1391	1449	1511
2600	1213	1261	1313	1366	1425	1484	1546	1610	1678
2800	1343	1396	1453	1512	1575	1640	1707	1777	1851
3000	1479	1538	1600	1664	1731	1801	1874	1949	2029
3200	1622	1686	1753	1822	1894	1968	2047	2127	2212
3400	1771	1840	1912	1986	2063	2141	2226	2311	2401
3600	1926	2000	2077	2156	2238	2320	2410	2501	2595
3800	2087	2166	2248	2331	2418	2506	2600	2696	2795
4000	0,2253	0,2337	0,2424	0,2512	0,2604	0,2698	0,2796	0,2897	0,3001

$f_0 = c' \sin 2\theta_0$

$c'X$	v_0								
	460	450	440	430	420	410	400	390	380
100	0,00468	0,00491	0,00514	0,00538	0,00564	0,00592	0,00621	0,00652	0,00688
200	00948	00993	01040	01089	01141	01198	01257	01321	01392
300	01440	01507	01579	01654	01732	01819	01909	02006	02113
400	01944	02034	02131	02232	02339	02455	02577	02708	02851
500	02461	02574	02695	02824	02961	03106	03261	03427	03607
600	02991	03128	03274	03431	03598	03773	03962	04164	04381
700	03534	03696	03867	04053	04250	04457	04680	04918	05174
800	04090	04278	04476	04690	04918	05157	05414	05689	05982
900	04660	04874	05100	05343	05601	05874	06166	06477	06807
1000	05245	05485	05740	06012	06301	06608	06935	07282	07649
1200	06460	06755	07069	07399	07753	08127	08526	08943	09383
1400	07737	08089	08463	08856	09275	09717	10185	10672	1118
1600	09077	09488	09921	10384	1086	1138	1192	1246	1302
1800	10483	1095	1144	1197	1252	1310	1371	1431	1492
2000	1196	1247	1304	1363	1425	1488	1554	1622	1691
2250	1390	1451	1513	1579	1648	1719	1792	1867	1944
2500	1594	1661	1731	1804	1880	1958	2038	2120	2204
2750	1807	1881	1958	2038	2121	2205	2292	2381	2472
3000	2029	2110	2194	2280	2370	2460	2554	2651	2748
3250	2259	2347	2438	2530	2627	2724	2824	2929	3032
3500	2498	2592	2690	2789	2891	2995	3103	3214	3324
3750	2745	2846	2950	3056	3164	3275	3390	3507	3624
4000	0,3001	0,3108	0,3218	0,3330	0,3445	0,3563	0,3685	0,3808	0,3933

$c'X$	v_0								
	380	370	360	350	345	340	335	330	325
100	0.00688	0,00726	0,00767	0,00811	0,00833	0,00858	0,00884	0,00911	0,00939
200	01392	01469	01551	01639	01684	01733	01783	01836	01891
300	02113	02229	02352	02483	02552	02624	02697	02775	02855
400	02851	03006	03171	03344	03436	03530	03626	03728	03832
500	03607	03801	04007	04222	04336	04451	04570	04695	04822
600	04381	04614	04860	05116	05252	05387	05528	05675	05825
700	05173	05444	05730	06026	06182	06338	06500	06669	06841
800	06807	07154	07517	07892	08085	08282	08485	08695	08911
1000	07649	08033	08432	08846	09058	09275	09497	09726	09964
1200	09383	09837	10307	10793	1104	1130	1156	1182	1211
1400	1118	1170	1224	1279	1307	1337	1167	1397	1430
1600	1302	1383	1423	1484	1516	1548	1581	1616	1653
1800	1492	1560	1626	1694	1729	1764	1801	1841	1881
2000	1691	1762	1833	1909	1947	1986	2027	2070	2115
2250	1944	2022	2101	2184	2227	2270	2316	2364	2414
2500	2204	2289	2376	2467	2514	2562	2612	2662	2722
2750	2472	2564	2659	2758	2809	2862	2916	2975	3037
3000	2748	2848	2951	3057	3112	3170	3229	3293	3360
3250	3032	3140	3251	3364	3423	3486	3550	3619	3692
3500	3324	3440	3558	3680	3743	3811	3880	3954	4034
3750	3624	3748	3873	4004	4072	4144	4219	4298	4385
4000	0,3933	0,4064	0,4197	0,4337	0,4409	0,4486	0,4566	0,4651	0,4744

Продолжение табл. 2

$f_0 = c' \sin 2\theta_0$

$c'X$	v_0								
	325	320	315	310	305	300	295	290	285
100	0,00939	0,00968	0,00998	0,01029	0,01062	0,01096	0,01134	0,01174	0,01214
200	01891	01947	02007	02069	02135	02204	02279	02359	02441
300	02855	02938	03120	03220	03324	03436	03556	03557	03680
400	03832	03942	04060	04183	04316	04456	04606	04765	04932
500	04822	04958	05103	05258	05424	05600	05788	05987	06197
600	05825	05986	06158	06345	06545	06757	06984	07222	07475
700	06841	07027	07225	07444	07678	07927	08192	08479	08766
800	07870	08079	08305	08555	08823	09109	09412	09731	10071
900	08911	09143	09397	09677	09981	10303	10645	11006	1139
1000	09964	10219	1050	10812	11151	1151	1189	1229	1272
1250	1265	1296	1331	1371	1413	1458	1506	1557	1611
1500	1541	1578	1620	1668	1719	1773	1831	1893	1958
1750	1824	1868	1917	1973	2033	2033	2097	2237	2314
2000	2115	2166	2223	2286	2355	2429	2507	2590	2679
2250	2414	2472	2537	2607	2685	2769	2858	2853	3054
2500	2722	2786	2858	2937	3024	3118	3218	3325	3439
2750	3037	3107	3187	3276	3372	3476	3588	3707	3833
3000	3360	3437	3525	3623	3729	3844	3967	4098	4238
3250	3692	3776	3873	3979	4096	4222	4356	4500	4554
3500	4034	4125	4229	4345	4472	4609	4756	4913	5081
3750	4385	4483	4594	4720	4858	5006	5166	5336	5518
4000	0,4744	0,4849	0,4969	0,5105	0,5254	0,5414	0,5586	0,5770	0,5966

$c'X$	v_0								
	285	280	275	270	265	260	255	250	245
100	0,01214	0,01258	0,01304	0,01351	0,01404	0,01460	0,01518	0,01577	0,01642
200	02441	02529	02620	02717	02823	02934	03050	03170	03301
300	03680	03813	03949	04097	04254	04422	04597	04780	04977
400	04932	05109	05293	04590	05700	05924	06159	06405	06669
500	06197	06418	06650	06897	07160	07440	07736	08046	08378
600	07475	07741	08021	08318	08635	08971	09328	09704	10104
700	08766	09077	09406	09754	10125	10517	10936	11379	1185
800	10071	10427	10805	11205	1163	1208	1256	1307	1361
900	1139	1179	1222	1267	1315	1366	1420	1478	1530
1000	1272	1317	1364	1415	1468	1525	1585	1651	1719
1250	1611	1667	1727	1791	1859	1930	2006	2090	2176
1500	1958	2027	2100	2177	2259	2347	2439	2540	2645
1750	2314	2396	2483	2574	2670	2775	2884	3002	3126
2000	2679	2774	2875	2981	3093	3213	3340	3476	3619
2250	3054	3162	3276	3398	3526	3662	3807	3962	4125
2500	3439	3560	3688	3825	3970	4123	4286	4460	4644
2750	3833	3968	4111	4264	4425	4596	4777	4971	5177
3000	4238	4387	4544	4714	4893	5081	5282	5496	5724
3250	4654	4817	4989	5176	5373	5579	5800	6035	6285
3500	5081	5279	6446	5650	5865	6090	6332	6588	6860
3750	5518	5712	5916	6136	6369	6615	6877	7155	7450
4000	0,5966	0,6176	0,6398	0,6635	0,6886	0,7154	0,7436	0,7737	0,8056

Продолжение табл. 2

$$f_6 = \frac{Y}{X \operatorname{tg} \theta_0}$$

$c'X$	v_0									
	2000	1900	1800	1700	1600	1500	1450	1400	1350	1300
0	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500
500	2552	2552	2552	2552	2552	2552	2552	2552	2552	2552
1000	2605	2605	2605	2605	2605	2605	2605	2605	2605	2605
1500	2659	2659	2659	2659	2659	2659	2659	2659	2659	2659
2000	2714	2714	2714	2714	2714	2714	2714	2714	2714	2715
2500	2770	2770	2770	2770	2770	2770	2770	2770	2771	2773
3000	2826	2826	2826	2826	2827	2827	2827	2828	2830	2833
3500	2884	2884	2884	2884	2885	2886	2887	2888	2891	2895
4000	0,2942	0,2942	0,2943	0,2943	0,2945	0,2947	0,2949	0,2951	0,2955	0,2959

Продолжение табл. 2

$c'X$	v_0									
	1300	1250	1200	1150	1100	1050	1000	950	900	850
0	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500
500	2552	2552	2552	2552	2552	2553	2553	2555	2557	2559
1000	2605	2605	2605	2605	2606	2608	2610	2613	2617	2620
1500	2659	2659	2660	2661	2663	2666	2670	2674	2679	2683
2000	2715	2716	2718	2720	2723	2727	2732	2737	2744	2750
2500	2773	2776	2779	2782	2785	2791	2797	2803	2812	2820
3000	2833	2837	2841	2845	2850	2857	2864	2872	2883	2893
3500	2895	2900	2905	2910	2917	2925	2934	2945	2958	2971
4000	0.2959	0.2965	0.2971	0.2978	0.2987	0.2996	0.3008	0.3022	0.3037	0.3054

Продолжение табл. 2

$c'X$	v_0									
	850	800	750	700	650	600	550	500	475	450
0	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500
500	2559	2560	2562	2564	2566	2568	2571	2573	2575	2576
1000	2620	2623	2627	2631	2635	2640	2646	2652	2655	2658
1500	2683	2688	2694	2701	2708	2716	2726	2735	2736	2738
2000	2750	2757	2765	2776	2786	2797	2809	2820	2814	2810
2500	2820	2830	2840	2854	2867	2883	2895	2902	2886	2870
3000	2893	2906	2920	2936	2953	2971	2982	2976	2949	2920
3500	2971	2987	3005	3023	3043	3060	3064	3039	3002	2964
4000	0,3054	0,3073	0,3095	0,3115	0,3135	0,3147	0,3135	0,3090	0,3047	0,3002

Окончание табл. 2

$c'X$	v_0								
	450	425	400	375	350	325	300	275	250
0	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500
500	2576	2578	2580	2577	2565	2550	2535	2533	2533
1000	2658	2658	2640	2615	2585	2568	2566	2566	2566
1500	2738	2733	2718	2691	2653	2616	2600	2598	2598
2000	2810	2798	2773	2732	2685	2648	2632	2630	2630
2500	2870	2850	2815	2765	2715	2680	2664	2662	2662
3000	2920	2891	2847	2794	2745	2713	2697	2695	2695
3500	2964	2924	2875	2822	2776	2745	2730	2728	2728
4000	0.3002	0,2953	0,2902	0,2850	0,2807	0,2778	0,2764	0,2761	0,2761

Таблица 3

Значения поправочных коэффициентов

m_ω, m_q, m_{W_0}, m_f, $m_{J_к}$

p_{max}	Δ				
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
			m_ω		
2000	2,04	2,17	2,29	2,38	2,42
2500	2,14	2,28	2,43	2,57	2,71
3000	2,22	2,39	2,56	2,74	2,92
3500	2,30	2,49	2,69	2,90	3,12
4000	2,38	2,59	2,82	3,05	3,28
			m_q		
2000	0,69	0,73	0,76	0,78	0,80
2500	0,72	0,78	0,81	0,83	0,84
3000	0,72	0,80	0,84	0,86	0,88
3500	0,70	0,80	0,86	0,88	0,90
4000	0,66	0,79	0,87	0,89	0,91
			m_{W_0}		
2000	1,36	1,45	1,52	1,59	1,66
2500	1,48	1,58	1,67	1,74	1,81
3000	1,57	1,68	1,78	1,86	1,94
3500	1,63	1,75	1,86	1,96	2,06
4000	1,66	1,80	1,92	2,03	2,14
			m_f		
2000	1,80	1,78	1,72	1,64	1,56
2500	1,81	1,81	1,76	1,67	1,58
3000	1,78	1,78	1,79	1,69	1,60
3500	1,73	1,78	1,78	1,70	1,62
4000	1,66	1,73	1,76	1,71	1,66
			$m_{J_к}$		
2000	1,49	1,40	1,32	1,24	1,16
2500	1,50	1,46	1,40	1,33	1,26
3000	1,50	1,50	1,46	1,40	1,34
3500	1,45	1,51	1,50	1,44	1,38
4000	1,36	1,48	1,50	1,46	1,42

l_ω

p_{max}	Δ				
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
			$\lambda_д = 6$		
2000	0,76	0,87	0,95	—	—
2500	0,68	0,77	0,86	0,92	0,98
3000	0,63	0,69	0,75	0,82	0,88
3500	0,59	0,63	0,68	0,73	0,78
4000	0,56	0,59	0,63	0,66	0,69
			$\lambda_д = 7$		
2000	0,74	0,85	0,93	—	—
2500	0,67	0,75	0,83	0,90	0,97
3000	0,62	0,67	0,73	0,79	0,85
3500	0,58	0,62	0,66	0,70	0,74
4000	0,55	0,58	0,61	0,64	0,67
			$\lambda_д = 8$		
2000	0,73	0,83	0,92	—	—
2500	0,66	0,73	0,81	0,88	0,95
3000	0,61	0,66	0,71	0,77	0,82
3500	0,58	0,61	0,65	0,68	0,71
4000	0,55	0,58	0,60	0,62	0,64
			$\lambda_д = 9$		
2000	0,72	0,81	0,90	—	—
2500	0,65	0,72	0,79	0,86	0,93
3000	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
3500	0,57	0,60	0,64	0,64	0,70
4000	0,54	0,57	0,59	0,61	0,62
			$\lambda_д = 10$		
2000	0,72	0,80	0,89	0,93	0,98
2500	0,65	0,71	0,77	0,84	0,90
3000	0,60	0,65	0,69	0,74	0,78
3500	0,56	0,60	0,63	0,67	0,70
4000	0,54	0,56	0,58	0,61	0,64

l_q

p_{max}	Δ				
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
			$\lambda_д = 6$		
2000	0,32	0,26	0,19	—	—
2500	0,37	0,32	0,27	0,22	0,17
3000	0,40	0,36	0,32	0,27	0,22
3500	0,42	0,39	0,35	0,32	0,29
4000	0,44	0,41	0,38	0,35	0,32
			$\lambda_д = 7$		
2000	0,33	0,28	0,20	—	—
2500	0,38	0,33	0,28	0,22	0,17
3000	0,41	0,37	0,33	0,28	0,23
3500	0,43	0,40	0,36	0,33	0,30
4000	0,45	0,42	0,39	0,36	0,33
			$\lambda_д = 8$		
2000	0,34	0,29	0,21	—	—
2500	0,39	0,34	0,29	0,23	0,17
3000	0,42	0,38	0,34	0,29	0,24
3500	0,44	0,41	0,37	0,33	0,31
4000	0,45	0,43	0,40	0,37	0,34
			$\lambda_д = 9$		
2000	0,35	0,30	0,22	—	—
2500	0,39	0,35	0,30	0,24	0,18
3000	0,42	0,38	0,34	0,30	0,26
3500	0,44	0,41	0,38	0,34	0,31
4000	0,45	0,43	0,40	0,37	0,34
			$\lambda_д = 10$		
2000	0,36	0,31	0,26	0,21	0,16
2500	0,40	0,36	0,31	0,26	0,21
3000	0,43	0,39	0,35	0,30	0,26
3500	0,44	0,41	0,38	0,34	0,31
4000	0,45	0,43	0,40	0,37	0,34

l_f

p_{max}	Δ				
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
			$\lambda_д = 6$		
2000	0,66	0,72	0,73	—	—
2500	0,61	0,66	0,71	0,72	—
3000	0,57	0,61	0,66	0,71	0,75
3500	0,55	0,58	0,62	0,66	0,70
4000	0,54	0,56	0,59	0,62	0,65
			$\lambda_д = 7$		
2000	0,64	0,70	0,73	—	—
2500	0,60	0,65	0,70	0,71	—
3000	0,57	0,61	0,65	0,69	0,73
3500	0,55	0,58	0,61	0,65	0,69
4000	0,53	0,56	0,58	0,61	0,64
			$\lambda_д = 8$		
2000	0,63	0,69	0,72	—	—
2500	0,59	0,64	0,69	0,71	0,73
3000	0,56	0,60	0,64	0,68	0,72
3500	0,54	0,57	0,60	0,64	0,68
4000	0,53	0,55	0,57	0,60	0,63
			$\lambda_д = 9$		
2000	0,62	0,68	0,72	—	—
2500	0,57	0,62	0,67	0,70	0,73
3000	0,55	0,58	0,62	0,67	0,71
3500	0,54	0,56	0,59	0,63	0,67
4000	0,53	0,55	0,57	0,60	0,62
			$\lambda_д = 10$		
2000	0,62	0,67	0,72	—	—
2500	0,57	0,62	0,66	0,71	0,73
3000	0,54	0,57	0,61	0,66	0,70
3500	0,53	0,55	0,58	0,62	0,66
4000	0,52	0,54	0,56	0,59	0,62

$l_{J_к}$

p_{max}	Δ				
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
			$\lambda_д = 6$		
2000	0,30	0,45	0,49	—	—
2500	0,18	0,29	0,44	0,48	—
3000	0,12	0,21	0,32	0,46	0,60
3500	0,09	0,15	0,23	0,35	0,47
4000	0,07	0,11	0,17	0,26	0,35
			$\lambda_д = 7$		
2000	0,28	0,41	0,48	—	—
2500	0,17	0,27	0,40	0,46	—
3000	0,11	0,19	0,29	0,42	0,55
3500	0,08	0,14	0,21	0,32	0,43
4000	0,06	0,10	0,15	0,23	0,32
			$\lambda_д = 8$		
2000	0,25	0,38	0,46	—	—
2500	0,16	0,26	0,37	0,46	0,55
3000	0,10	0,17	0,27	0,39	0,51
3500	0,07	0,12	0,19	0,29	0,39
4000	0,06	0,09	0,14	0,21	0,28
			$\lambda_д = 9$		
2000	0,23	0,35	0,45	—	—
2500	0,15	0,24	0,34	0,46	0,58
3000	0,10	0,16	0,25	0,36	0,47
3500	0,07	0,11	0,18	0,27	0,36
4000	0,05	0,08	0,13	0,20	0,27
			$\lambda_д = 10$		
2000	0,22	0,33	0,44	—	—
2500	0,14	0,25	0,32	0,45	0,58
3000	0,09	0,15	0,23	0,34	0,45
3500	0,07	0,11	0,17	0,26	0,35
4000	0,05	0,08	0,13	0,19	0,25

l_{W_0}

$\lambda_д$	3	4	5	6	7	8	9	10
l_{W_0}	0,41	0,34	0,28	0,23	0,19	0,16	0,15	0,14

Таблица 4

Данные для баллистического расчета (ТБР)

$$v_{\text{таб.1}} = v_{\text{д}} \sqrt{\frac{\varphi q}{\omega}}$$

$\lambda_{\text{д}}$	$\Delta = 0{,}70$				$\Delta = 0{,}71$			
	$p_{\max}$							
	2600	2800	3000	3200	2600	2800	3000	3200
2,5				1345				1335
3,0			1400	1434			1390	1425
3,5		1433	1472	1505		1423	1463	1497
4,0	1447	1492	1530	1562		1483	1522	1555
4,5	1498	1541	1579	1610	1488	1532	1571	1603
5,0	1542	1584	1621	1651	1530	1574	1612	1644
5,5	1580	1622	1657	1686	1567	1611	1648	1679
6,0	1613	1655	1689	1717	1601	1644	1680	1710
6,5	1643	1684	1718	1745	1632	1674	1709	1738
7,0	1671	1711	1744	1770	1660	1702	1736	1764
7,5	1697	1736	1768	1793	1686	1727	1760	1787
8,0	1720	1758	1789	1814	1710	1750	1782	1808
9,0	1761	1798	1827	1850	1752	1789	1820	1845
10,0	1796	1831	1860	1882	1788	1824	1853	1877
11,0	1826	1860	1888	1910	1819	1854	1882	1905
12,0	1853	1886	1913	1935	1846	1880	1907	1930
13,0	1877	1909	1935	1957	1870	1903	1930	1952
14,0	1899	1930	1956	1977	1892	1924	1950	1972
15,0	1920	1950	1975	1995	1912	1943	1969	1991
16,0	1939	1968	1992	2012	1931	1961	1986	2008
17,0	1957	1985	2008	2028	1948	1978	2002	2023
18,0	1973	2001	2023	2043	1964	1933	2017	2037
19,0	1988	2015	2037	2056	1979	2008	2031	2050
20,0	2001	2028	2050	2068	1994	2022	2045	2063
$\lambda_{\text{к}}$	3,944	3,162	2,616	2,227	4,229	3,361	2,782	2,351
$v_{\text{к}}$	1440	1384	1334	1289	1460	1404	1353	1308
B	2,333	2,153	2,000	1,871	2,398	2,216	2,060	1,927

$\lambda_д$	$\Delta=0{,}72$				$\Delta=0{,}73$			
	p_{max}							
	2600	2800	3000	3200	2600	2800	3000	3200
2,5				1329				
3,0			1383	1419				1411
3,5			1455	1490			1446	1483
4,0		1473	1513	1547		1463	1505	1510
4,5		1523	1562	1595		1512	1553	1587
5,0	1520	1565	1603	1636	1508	1554	1594	1628
5,5	1557	1602	1639	1672	1547	1591	1630	1664
6,0	1591	1635	1672	1704	1581	1625	1663	1696
6,5	1622	1665	1702	1733	1612	1656	1693	1726
7,0	1650	1693	1729	1759	1640	1684	1721	1752
7,5	1676	1719	1754	1782	1667	1710	1746	1776
8,0	1700	1742	1776	1803	1692	1734	1769	1797
9,0	1741	1781	1814	1840	1732	1773	1806	1835
10,0	1777	1816	1847	1873	1769	1808	1839	1868
11,0	1809	1846	1876	1901	1801	1838	1869	1896
12,0	1837	1872	1901	1926	1829	1865	1895	1921
13,0	1862	1896	1924	1948	1851	1889	1918	1943
14,0	1884	1918	1945	1968	1876	1910	1939	1963
15,0	1904	1937	1964	1986	1897	1930	1958	1982
16,0	1923	1955	1982	2003	1916	1949	1976	1999
17,0	1941	1972	1998	2019	1934	1966	1992	2014
18,0	1957	1988	2013	2033	1950	1981	2007	2029
19,0	1973	2003	2027	2047	1966	1996	2021	2043
20,0	1988	2017	2041	2060	1981	2010	2034	2056
$\lambda_к$	4,582	3,596	2,949	2,487	4,952	3,860	3,142	2,639
$v_к$	1481	1424	1373	1326	1503	1446	1394	1347
B	2,464	2,277	2,116	1,977	2,530	2,341	2,177	2,034

$\lambda_д$	$\Delta=0{,}74$				$\Delta=0{,}75$			
	v_{max}							
	2600	2800	3000	3200	2600	2800	3000	3200
3,0				1405				1394
3,5			1438	1477				1466
4,0			1496	1533			1487	1523
4,5		1502	1544	1580		1490	1535	1571
5,0		1544	1585	1621		1533	1576	1612
5,5	1534	1581	1622	1658		1571	1612	1648
6,0	1570	1615	1655	1691	1557	1605	1645	1680
6,5	1601	1646	1685	1721	1589	1635	1675	1709
7,0	1629	1674	1713	1747	1618	1663	1703	1736
7,5	1655	1700	1738	1771	1644	1689	1728	1761
8,0	1679	1724	1761	1792	1668	1713	1751	1783
9,0	1722	1764	1800	1830	1709	1754	1790	1821
10,0	1759	1800	1834	1863	1747	1790	1825	1854
11,0	1792	1831	1864	1892	1780	1821	1855	1883
12,0	1821	1858	1890	1917	1809	1848	1881	1909
13,0	1846	1882	1913	1939	1835	1873	1905	1932
14,0	1868	1903	1933	1959	1858	1895	1926	1952
15,0	1889	1923	1952	1977	1880	1916	1946	1971
16,0	1908	1942	1970	1994	1900	1935	1964	1988
17,0	1925	1959	1986	2010	1918	1952	1981	2004
18,0	1941	1975	2002	2025	1934	1968	1996	2018
19,0	1957	1990	2016	2039	1949	1982	2010	2032
20,0	1972	2004	2029	2052	1964	1996	2023	2045
$\lambda_к$	5,354	4,142	3,361	2,802	5,828	4,475	3,575	2,985
$v_к$	1524	1466	1414	1368	1544	1486	1434	1387
B	2,597	2,403	2,233	2,083	2,668	2,472	2,302	2,152

$\lambda_д$	$\Delta=0{,}76$				$\Delta=0{,}77$			
	p_{max}							
	2600	2800	3000	3200	2600	2800	3000	3200
3,5				1459				1449
4,0			1476	1516				1507
4,5			1525	1564			1514	1555
5,0		1522	1567	1605			1556	1596
5,5		1560	1604	1641		1548	1594	1632
6,0		1594	1637	1673		1583	1628	1665
6,5	1576	1626	1626	1673		1615	1658	1695
7,0	1606	1654	1695	1730	1593	1643	1685	1722
7,5	1632	1680	1720	1754	1620	1668	1710	1746
8,0	1656	1702	1742	1776	1643	1690	1732	1767
9,0	1698	1743	1781	1813	1685	1732	1771	1805
10,0	1736	1779	1816	1847	1724	1769	1806	1840
11,0	1770	1811	1847	1877	1759	1802	1837	1870
12,0	1800	1840	1874	1903	1789	1831	1865	1896
13,0	1826	1865	1898	1926	1814	1856	1890	1919
14,0	1849	1887	1919	1947	1838	1879	1912	1940
15,0	1870	1908	1939	1966	1860	1900	1932	1959
16,0	1890	1927	1957	1983	1880	1919	1950	1977
17,0	1909	1945	1974	1999	1898	1936	1967	1993
18,0	1926	1961	1990	2014	1915	1952	1982	2008
19,0	1941	1975	2004	2028	1931	1966	1996	2022
20,0	1955	1989	2017	2041	1946	1981	2010	2036
$\lambda_к$	6,329	4,832	3,844	3,169	6,833	5,199	4,114	3,373
$v_к$	1564	1506	1454	1408	1585	1526	1474	1427
B	2,739	2,538	2,363	2,208	2,814	2,609	2,430	2,271

$\lambda_д$	$\Delta=0{,}78$				$\Delta=0{,}79$			
	p_{max}							
	2800	3000	3200	3600	2800	3000	3200	3600
3,0				1438				1427
3,5				1509				1498
4,0			1499	1565			1486	1555
4,5		1504	1547	1612			1535	1603
5,0		1547	1588	1652		1535	1577	1644
5,5		1585	1625	1687		1573	1614	1679
6,0	1574	1620	1659	1719		1608	1647	1710
6,5	1607	1651	1689	1748	1593	1639	1677	1738
7,0	1635	1679	1716	1773	1623	1667	1704	1764
7,5	1660	1704	1740	1795	1649	1692	1729	1787
8,0	1683	1725	1761	1815	1671	1714	1751	1808
9,0	1725	1765	1800	1853	1713	1754	1790	1845
10,0	1762	1800	1835	1885	1750	1790	1824	1878
11,0	1794	1831	1865	1913	1783	1822	1854	1907
12,0	1823	1859	1891	1938	1813	1850	1881	1932
13,0	1849	1884	1914	1960	1839	1875	1905	1954
14,0	1872	1906	1935	1980	1862	1897	1926	1974
15,0	1893	1926	1954	1998	1883	1917	1946	1992
16,0	1912	1945	1972	2014	1902	1936	1964	2008
17,0	1930	1962	1989	2029	1920	1953	1981	2023
18,0	1946	1978	2004	2044	1937	1969	1996	2038
19,0	1961	1992	2018	2058	1953	1984	2010	2052
20,0	1976	2006	2032	2071	1967	1998	2024	2066
$\lambda_к$	5,636	4,419	3,600	2,605	6,127	4,771	3,832	2,752
$v_к$	1548	1495	1447	1363	1569	1515	1467	1383
B	2,665	2,483	2,321	2,066	2,741	2,557	2,393	2,129

$\lambda_д$	$\Delta=0{,}80$				$\Delta=0{,}81$			
	p_{max}							
	2800	3000	3200	3600	2800	3000	3200	3600
3,0				1418				
3,5				1480				1481
4,0				1546				1538
4,5			1522	1595			1516	1586
5,0			1566	1637			1558	1627
5,5		1561	1604	1673			1595	1663
6,0		1597	1638	1704		1586	1628	1695
6,5		1629	1668	1732		1617	1658	1724
7,0	1610	1657	1695	1757		1644	1685	1750
7,5	1635	1681	1719	1780	1623	1669	1709	1773
8,0	1657	1702	1740	1801	1645	1691	1731	1794
9,0	1699	1743	1779	1838	1688	1734	1772	1832
10,0	1737	1780	1814	1871	1727	1771	1807	1865
11,0	1771	1813	1845	1900	1762	1804	1838	1894
12,0	1802	1842	1837	1926	1793	1833	1866	1919
13,0	1829	1868	1898	1949	1820	1859	1891	1942
14,0	1853	1891	1920	1969	1844	1881	1913	1962
15.0	1875	1912	1940	1987	1866	1903	1933	1982
16,0	1895	1931	1958	2003	1885	1922	1951	1999
17,0	1913	1948	1974	2018	1903	1939	1968	2015
18,0	1929	1963	1989	2033	1919	1955	1984	2030
19,0	1944	1977	2004	2047	1935	1970	1999	2043
20,0	1958	1991	2018	2061	1950	1984	2012	2056
$\lambda_к$	6,645	5,159	4,136	2,905	7,255	5,571	4,451	3,096
$v_к$	1589	1535	1487	1402	1610	1556	1508	1423
B	2,811	2,625	2,463	2,189	2,882	2,690	2,524	2,249

$\lambda_д$	Δ=0,82				Δ=0,83			
	p_{max}							
	2800	3000	3200	3600	2800	3000	3200	3600
3,5				1473				1462
4,0				1529				1520
4,5				1577				1568
5,0			1545	1618				1610
5,5			1584	1654			1572	1646
6,0			1618	1686			1607	1678
6,5		1608	1649	1715			1638	1707
7,0		1635	1676	1742		1622	1665	1733
7,5		1659	1700	1766		1647	1689	1757
8,0	1634	1681	1721	1787		1668	1710	1778
9,0	1677	1723	1763	1827	1664	1712	1752	1817
10,0	1716	1760	1799	1860	1703	1750	1789	1851
11,0	1750	1793	1830	1889	1738	1783	1821	1880
12,0	1780	1823	1858	1914	1769	1812	1850	1906
13,0	1807	1850	1883	1936	1796	1838	1875	1929
14,0	1832	1874	1906	1957	1820	1862	1897	1950
15,0	1854	1895	1927	1976	1843	1884	1917	1969
16,0	1874	1914	1946	1993	1864	1904	1936	1987
17,0	1892	1931	1963	2010	1883	1922	1954	2004
18,0	1909	1947	1978	2024	1900	1938	1970	2019
19,0	1925	1962	1992	2038	1916	1954	1985	2033
20,0	1941	1977	2006	2051	1932	1968	1999	2046
$\lambda_к$	7,940	6,053	4,787	3,284	8,733	6,582	5,183	3,498
$v_к$	1632	1577	1528	1442	1654	1598	1549	1462
B	2,956	2,759	2,591	2,310	3,035	2,832	2,832	2,373

$\lambda_д$	$\Delta=0{,}84$				$\Delta=0{,}85$			
	p_{max}							
	2800	3000	3200	3600	2800	3000	3200	3600
4,0				1512				1504
4,5				1559				1550
5,0				1600				1592
5,5				1637				1629
6,0			1595	1670				1661
6,5			1627	1699			1614	1689
7,0			1654	1725			1642	1715
7,5		1633	1678	1749			1667	1739
8,0		1657	1701	1771		1646	1689	1760
9,0		1700	1743	1811		1689	1732	1801
10,0	1691	1738	1780	1844		1727	1770	1837
11,0	1725	1772	1812	1873	1712	1761	1803	1867
12,0	1736	1802	1840	1899	1741	1791	1832	1893
13,0	1784	1829	1865	1923	1768	1818	1858	1917
14,0	1809	1853	1888	1944	1794	1843	1881	1938
15,0	1832	1875	1909	1963	1818	1866	1902	1958
16,0	1853	1895	1929	1981	1839	1886	1921	1976
17,0	1872	1914	1947	1998	1858	1905	1939	1992
18,0	1889	1931	1963	2014	1876	1922	1955	2007
19,0	1905	1945	1978	2028	1893	1937	1970	2021
20,0	1921	1960	1992	2041	1910	1951	1984	2034
$\lambda_к$	9,606	7,180	5,612	3,740	10,62	7,883	6,103	3,991
$v_к$	1676	1620	1569	1482	1697	1640	1590	1502
B	3,113	2,908	2,729	2,437	3,196	2,981	2,800	2,499

$\lambda_д$	$\Delta=0{,}86$				$\Delta=0{,}87$			
	p_{max}							
	2800	3000	3200	3600	2800	3000	3200	3600
4,5				1541				
5,0				1583				1570
5,5				1620				1608
6,0				1652				1642
6,5				1681				1672
7,0			1631	1707				1698
7,5			1656	1731			1643	1721
8,0			1679	1752			1666	1742
9,0		1678	1722	1794			1711	1784
10,0		1716	1760	1829		1702	1750	1820
11,0		1750	1793	1859		1734	1783	1851
12,0	1725	1780	1822	1885		1764	1812	1878
13,0	1753	1807	1848	1909		1792	1838	1902
14,0	1778	1831	1872	1931	1762	1817	1861	1924
15,0	1801	1853	1893	1951	1785	1840	1883	1944
16,0	1822	1873	1912	1969	1807	1861	1903	1962
17,0	1843	1892	1930	1986	1827	1880	1921	1979
18,0	1862	1910	1947	2002	1846	1898	1937	1995
19,0	1878	1926	1962	2016	1863	1914	1952	2009
20,0	1894	1941	1976	2029	1879	1929	1967	2023
$\lambda_к$	11,87	8,688	6,678	4,328	13,34	9,623	7,321	4,690
$v_к$	1722	1663	1612	1523	1746	1686	1634	1544
B	3,286	3,062	2,872	2,567	3,377	3,147	2,951	2,637

$\lambda_д$	$\Delta=0{,}88$				$\Delta=0{,}89$			
	p_{max}							
	2800	3000	3200	3600	2800	3000	3200	3600
5,5				1597				
6,0				1630				1618
6,5				1660				1649
7,0				1687				1677
7,5				1711				1701
8,0				1732				1722
9,0			1700	1776			1686	1766
10,0			1738	1812			1724	1803
11,0		1720	1771	1843			1757	1835
12,0		1750	1800	1870		1734	1787	1863
13,0		1778	1826	1894		1763	1814	1888
14,0		1803	1850	1916		1789	1838	1910
15,0		1826	1872	1936		1813	1860	1930
16,0	1791	1847	1892	1951		1834	1880	1948
17,0	1810	1866	1910	1972		1853	1899	1965
18,0	1828	1881	1927	1988	1814	1871	1916	1981
19,0	1846	1901	1943	2003	1831	1888	1932	1995
20,0	1863	1917	1958	2016	1846	1904	1947	2009
$\lambda_к$	15,07	10,71	8,055	5,087	17,06	11,93	8,897	5,546
$v_к$	1771	1709	1655	1565	1795	1732	1678	1586
B	3,468	3,230	3,028	2,705	3,561	3,314	3,107	2,774

$\lambda_д$	Δ=0,90				Δ=0,91			
	p_{max}							
	3000	3200	3600	4000	3000	3200	3600	4000
4,5				1569				1557
5,0				1609				1597
5,5				1644				1633
6,0				1676				1665
6,5			1633	1705				1694
7,0			1662	1731			1650	1720
7,5			1688	1754			1675	1744
8,0			1710	1775			1701	1767
9,0			1754	1817			1743	1807
10,0		1708	1792	1852			1781	1842
11,0		1741	1824	1882		1727	1814	1873
12,0		1771	1852	1909		1758	1842	1901
13,0		1799	1876	1932		1786	1867	1925
14,0	1773	1824	1898	1952		1811	1890	1946
15,0	1797	1847	1918	1970		1834	1911	1965
16,0	1819	1868	1937	1988	1802	1855	1930	1982
17,0	1839	1887	1955	2005	1822	1854	1947	1998
18,0	1857	1904	1971	2020	1840	1891	1963	2013
19,0	1873	1920	1985	2033	1856	1906	1978	2028
20,0	1888	1934	1997	2045	1870	1920	1991	2042
$\lambda_к$	13,38	9,855	6,071	4,105	15,02	10,95	6,667	4,475
$v_к$	1756	1701	1607	1530	1781	1725	1629	1551
B	3,409	3,197	2,853	2,585	3,501	3,280	2,927	2,654

$\lambda_д$	$\Delta=0{,}92$				$\Delta=0{,}93$			
	p_{max}							
	3000	3200	3600	4000	3000	3200	3600	4000
5,0				1584				
5,5				1619				1608
6,0				1651				1641
6,5				1680				1670
7,0				1707				1697
7,5			1664	1732				1722
8,0			1689	1756				1745
9,0			1732	1798			1718	1788
10,0			1770	1834			1757	1825
11,0			1803	1865			1789	1856
12,0			1832	1892			1817	1883
13,0		1770	1858	1916			1843	1907
14,0		1796	1882	1937		1778	1867	1929
15,0		1819	1903	1956		1801	1889	1949
16,0		1839	1922	1974		1822	1909	1967
17,0		1858	1939	1991		1841	1927	1983
18,0	1822	1876	1954	2006		1858	1943	1998
19,0	1838	1891	1969	2020		1874	1958	2012
20,0	1853	1905	1983	2033	1837	1889	1972	2025
$\lambda_к$	17,07	12,22	7,311	4,859	19,57	13,80	8,075	5,292
$v_к$	1805	1747	1653	1574	1832	1773	1673	1596
B	3,599	3,370	3,008	2,729	3,700	3,465	3,091	2,802

$\lambda_д$	$\Delta=0{,}94$				$\Delta=0{,}95$			
	p_{max}							
	3200	3600	4000	4400	3200	3600	4000	4400
4,5				1592				1579
5,0				1630				1618
5,5				1663				1652
6,0			1628	1693				1683
6,5			1658	1720			1647	1710
7,0			1685	1746			1675	1736
7,5			1710	1770			1700	1760
8,0			1733	1792			1722	1782
9,0		1703	1777	1833			1766	1824
10,0		1742	1814	1868		1726	1803	1859
11,0		1776	1846	1898		1758	1835	1889
12,0		1805	1873	1924		1788	1863	1915
13,0		1831	1897	1946		1815	1888	1938
14,0		1855	1919	1966		1840	1910	1959
15,0		1817	1939	1985		1862	1930	1978
16,0	1805	1897	1968	2002		1882	1948	1995
17,0	1825	1915	1975	2018		1900	1965	2010
18,0	1843	1931	1990	2033	1825	1917	1981	2025
19,0	1859	1946	2004	2047	1842	1932	1996	2040
20,0	1874	1960	2018	2060	1857	1946	2009	2053
$\lambda_к$	15,70	8,934	5,802	4,083	17,98	9,933	6,371	4,421
$v_к$	1797	1697	1617	1550	1823	1721	1640	1572
B	3,558	3,174	2,878	2,640	3,659	3,261	2,955	2,712

Таблица 5

Значения давления пороховых газов

$\Delta = 0{,}68$

λ	B										
	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
0,1	2178	2071	1972	1889	1815	1751	1692	1639	1589	1543	1500
0,2	3084	2891	2728	2586	2463	2357	2265	2179	2102	2032	1966
0,3	3602	3357	3149	2972	2823	2694	2581	2479	2386	2301	2220
0,4	3893	3623	3393	3194	3024	2878	2750	2635	2531	2435	2345
0,5	4037	3754	3512	3306	3126	2971	2834	2712	2600	2499	2404
0,6	4097	3802	3550	3333	3149	2988	2847	2724	2610	2507	2411
0,7	4087	3789	3534	3317	3133	2974	2833	2711	2598	2494	2337
0,8	4035	3742	3494	3280	3096	2936	2796	2669	2557	2454	2358
0,9	3970	3678	3430	3216	3032	2876	2740	2620	2509	2407	2312
1,0	3888	3599	3354	3146	2970	2816	2682	2561	2452	2351	2259
1,5	2969	3003	2928	2746	2595	2466	2352	2249	2155	2068	1987
2,0	2218	2243	2268	2293	2272	2159	2059	1969	1887	1811	1740
2,5	1755	1775	1796	1817	1838	1860	1822	1742	1668	1598	1536
3,0	1443	1459	1476	1492	1509	1526	1543	1555	1489	1429	1374
3,5	1219	1233	1247	1261	1275	1289	1304	1318	1333	1294	1243
4,0	1052	1063	1075	1087	1100	1112	1125	1137	1149	1161	1135
4,5	923	933	944	955	965	976	987	998	1009	1019	1030
5,0	819	829	838	848	857	867	877	886	896	906	916
5,5	735	744	752	761	769	778	787	795	804	813	822
6,0	666	674	681	689	697	705	713	721	729	737	746
6,5	608	615	622	629	636	644	651	659	666	674	682
7,0	559	565	572	578	584	591	598	605	612	620	627
7,5	516	522	528	534	540	546	552	559	566	573	580
8,0	479	485	490	496	501	507	513	519	525	532	538
9,0	418	423	428	433	437	442	447	452	457	463	468
10,0	370	374	378	382	386	391	396	400	405	410	414
$\lambda_к$	1,196	1,380	1,588	1,820	2,078	2,362	2,672	3,012	3,393	3,833	4,350
p_{max}	4100	3806	3551	3336	3151	2990	2848	2726	2611	2508	2411

$\Delta = 0{,}70$

λ	B										
	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
0,1	2187	2080	1989	1909	1839	1775	1717	1663	1615	1571	1525
0,2	3066	2885	2731	2599	2484	2385	2293	2210	2135	2065	1999
0,3	3571	3342	3151	2988	2849	2728	2616	2516	2425	2338	2257
0,4	3858	3596	3380	3197	3040	2902	2778	2666	2564	2468	2379
0,5	3985	3723	3498	3305	3137	2990	2858	2739	2631	2531	2437
0,6	4030	3756	3523	3323	3151	3000	2867	2743	2633	2532	2438
0,7	4013	3739	3505	3302	3133	2983	2849	2728	2617	2514	2419
0,8	3961	3691	3461	3264	3093	2944	2817	2687	2577	2476	2383
0,9	3891	3621	3391	3193	3026	2880	2753	2634	2525	2425	2334
1,0	3801	3535	3311	3122	2958	2812	2687	2570	2463	2365	2276
1,5	3111	3082	2882	2721	2585	2465	2356	2256	2163	2077	1997
2,0	2317	2343	2369	2377	2257	2152	2058	1972	1892	1817	1747
2,5	1830	1852	1873	1896	1919	1898	1813	1735	1663	1597	1537
3,0	1503	1520	1538	1555	1573	1591	1608	1548	1485	1428	1375
3,5	1269	1283	1298	1313	1328	1343	1357	1372	1342	1289	1240
4,0	1093	1106	1119	1132	1145	1158	1171	1184	1197	1178	1133
4,5	959	970	981	992	1003	1015	1026	1038	1049	1061	1040
5,0	851	861	871	881	891	901	911	921	931	941	952
5,5	761	773	782	791	800	809	818	827	836	845	854
6,0	692	700	708	716	724	732	741	750	759	768	777
6,5	631	638	645	653	660	668	676	684	693	702	711
7,0	580	586	593	600	607	614	621	629	636	644	653
7,5	535	541	548	554	561	567	574	581	588	596	603
8,0	497	502	508	514	520	526	533	540	547	554	561
9,0	433	438	443	448	453	459	464	469	475	481	487
10,0	383	387	392	396	401	406	411	416	421	426	431
$\lambda_к$	1,346	1,548	1,775	2,028	2,308	2,616	2,954	3,330	3,764	4,274	4,871
p_{max}	4030	3756	3523	3323	3151	3000	2865	2743	2633	2532	2438

$\Delta = 0{,}72$

λ	B										
	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
0,1	2196	2097	2011	1935	1866	1803	1745	1693	1645	1596	1554
0,2	3055	2888	2746	2623	2516	2420	2331	2250	2175	2104	2039
0,3	3550	3342	3165	3013	2882	2762	2664	2555	2462	2375	2294
0,4	3815	3580	3382	3213	3065	2932	2812	2702	2600	2505	2416
0,5	3947	3701	3492	3311	3154	3014	2887	2771	2664	2564	2470
0,6	3978	3725	3509	3324	3163	3020	2891	2773	2664	2564	2468
0,7	3955	3700	3484	3300	3139	2997	2868	2750	2641	2539	3446
0,8	3900	3652	3438	3258	3098	2955	2825	2707	2600	2500	2406
0,9	3824	3576	3364	3185	3029	2892	2765	2650	2544	2447	2354
1,0	3728	3488	3285	3110	2955	2821	2696	2583	2479	2384	2296
1,5	3246	3025	2852	2708	2582	2467	2361	2262	2170	2085	2005
2,0	2419	2448	2477	2359	2247	2148	2058	1974	1895	1821	1752
2,5	1908	1930	1955	1975	1976	1886	1804	1729	1661	1598	1540
3,0	1564	1582	1601	1620	1639	1659	1614	1547	1486	1430	1377
3,5	1319	1335	1351	1367	1383	1400	1416	1398	1342	1290	1242
4,0	1135	1149	1163	1177	1191	1205	1218	1232	1221	1174	1132
4,5	995	1007	1019	1031	1043	1055	1067	1080	1093	1080	1040
5,0	883	894	904	915	925	936	946	957	968	979	959
5,5	793	803	812	821	830	840	850	861	872	882	893
6,0	718	726	734	742	751	760	769	779	789	798	808
6,5	654	662	670	677	685	694	703	712	721	730	739
7,0	601	608	615	622	629	637	645	653	661	670	679
7,5	555	561	568	574	581	589	597	604	612	619	627
8,0	515	521	527	533	539	546	553	560	567	574	582
9,0	448	454	459	464	470	476	482	488	494	500	505
10,0	396	401	406	411	416	421	426	431	437	442	447
$\lambda_к$	1,506	1,728	1,977	2,253	2,557	2,891	3,263	3,691	4,193	4,782	5,463
p_{max}	3979	3726	3509	3324	3163	3020	2891	2774	2666	2566	2471

$\Delta = 0{,}74$

λ	B										
	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7
0,1	2212	2120	2038	1964	1897	1835	1779	1727	1678	1632	1589
0,2	3059	2906	2775	2660	2557	2463	2376	2295	2218	2148	2082
0,3	3543	3352	3188	3046	2918	2802	2695	2596	2503	2416	2335
0,4	3797	3584	3401	3241	3098	2969	2851	2741	2639	2544	2455
0,5	3916	3691	3497	3328	3178	3043	2919	2804	2698	2598	2505
0,6	3945	3713	3514	3341	3188	3049	2922	2805	2697	2596	2503
0,7	3913	3681	3483	3310	3156	3017	2891	2771	2667	2568	2475
0,8	3855	3628	3433	3262	3109	2971	2845	2730	2624	2525	2433
0,9	3773	3548	3356	3188	3039	2904	2781	2668	2565	2469	2379
1,0	3677	3460	3274	3110	2964	2832	2711	2601	2500	2406	2319
1,5	3180	2992	2838	2704	2582	2469	2364	2266	2175	2090	2012
2,0	2526	2556	2465	2346	2242	2148	2060	1977	1899	1826	1758
2,5	1985	2008	2031	2054	1963	1878	1800	1729	1663	1602	1545
3,0	1627	1646	1666	1685	1706	1676	1607	1543	1484	1429	1378
3,5	1371	1387	1404	1421	1437	1454	1449	1391	1338	1289	1243
4,0	1179	1194	1208	1223	1237	1252	1267	1268	1221	1177	1135
4,5	1033	1045	1058	1071	1084	1097	1110	1123	1118	1077	1039
5,0	916	927	938	949	960	971	983	995	1007	992	958
5,5	822	832	842	852	862	872	883	894	906	918	893
6,0	743	752	761	770	779	789	799	809	820	832	836
6,5	678	686	694	702	711	720	729	738	747	757	767
7,0	621	629	636	644	652	660	668	677	680	725	704
7,5	574	581	588	595	603	611	619	627	635	643	651
8,0	533	539	545	552	559	566	573	580	587	595	603
9,0	464	469	475	481	487	493	499	505	511	518	524
10,0	411	416	421	426	431	436	441	446	451	457	462
$\lambda_к$	1,676	1,920	2,192	2,494	2,826	3,193	3,615	4,109	4,689	5,361	6,131
p_{max}	3945	3713	3514	3342	3189	3050	2924	2806	2699	2599	2507

$\Delta = 0{,}76$

λ	B										
	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8
0,1	2233	2145	2067	1997	1932	1872	1816	1763	1715	1670	1627
0,2	3080	2939	2816	2706	2604	2511	2424	2342	2267	2193	2126
0,3	3553	3376	3222	3086	2961	2845	2739	2639	2546	2459	2378
0,4	3802	3604	3431	3278	3139	3011	2893	2783	2680	2585	2496
0,5	3907	3698	3516	3355	3210	3077	2954	2840	2733	2634	2541
0,6	3933	3720	3534	3367	3218	3081	2956	2840	2732	2631	2537
0,7	3893	3679	3493	3329	3179	3043	2919	2805	2698	2599	2505
0,8	3830	3620	3436	3273	3124	2990	2867	2753	2648	2550	2459
0,9	3745	3539	3358	3197	3052	2920	2800	2689	2587	2491	2402
1,0	3649	3450	3276	3118	2976	2847	2729	2620	2520	2427	2339
1,5	3161	2987	2832	2693	2568	2455	2352	2257	2170	2090	2017
2,0	2629	2576	2450	2335	2230	2134	2047	1967	1893	1824	1760
2,5	2068	2093	2118	2050	1963	1882	1806	1735	1669	1607	1549
3,0	1691	1711	1732	1752	1740	1667	1600	1538	1481	1428	1378
3,5	1424	1441	1459	1476	1494	1507	1444	1387	1335	1287	1242
4,0	1225	1240	1255	1270	1285	1300	1314	1264	1217	1173	1131
4,5	1072	1085	1098	1112	1125	1139	1153	1159	1115	1074	1036
5,0	950	961	973	984	996	1007	1018	1030	1024	988	955
5,5	851	861	872	883	895	906	917	929	940	922	890
6,0	770	779	789	799	810	821	832	843	854	865	833
6,5	702	710	719	729	739	749	759	769	779	789	782
7,0	644	652	660	669	678	687	696	705	714	723	733
7,5	594	601	609	617	625	633	642	650	659	667	676
8,0	551	558	565	572	579	587	594	602	610	617	625
9,0	480	486	492	498	504	510	516	523	530	536	543
10,0	425	430	436	441	447	452	458	464	470	475	481
$\lambda_к$	1,866	2,132	2,428	2,754	3,114	3,526	4,010	4,579	5,240	5,999	6,865
p_{max}	3934	3721	3534	3367	3218	3082	2957	2841	2734	2635	2543

$\Delta = 0{,}78$

λ	B										
	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
0,1	2259	2175	2104	2034	1970	1910	1854	1802	1754	1707	1666
0,2	3113	2980	2864	2755	2654	2560	2472	2391	2311	2238	2172
0,3	3582	3413	3266	3130	3004	2889	2781	2682	2589	2502	2422
0,4	3822	3634	3470	3318	3180	3053	2935	2824	2723	2628	2538
0,5	3917	3720	3545	3387	3243	3112	2990	2874	2768	2670	2580
0,6	3939	3736	3554	3392	3245	3110	2986	2870	2763	2663	2572
0,7	3889	3688	3511	3352	3206	3073	2951	2834	2729	2629	2537
0,8	3819	3621	3446	3285	3142	3011	2889	2777	2673	2576	2487
0,9	3734	3538	3363	3206	3064	2936	2817	2709	2607	2513	2426
1,0	3634	3447	3275	3122	2983	2857	2740	2634	2535	2441	2356
1,5	3128	2965	2819	2687	2567	2458	2358	2266	2181	2103	2031
2,0	2694	2559	2437	2326	2225	2132	2047	1968	1896	1829	1767
2,5	2151	2178	2135	2042	1956	1876	1802	1733	1669	1609	1553
3,0	1756	1778	1799	1811	1735	1665	1600	1539	1483	1431	1382
3,5	1478	1496	1514	1532	1550	1498	1439	1385	1335	1288	1244
4,0	1270	1286	1301	1317	1333	1349	1307	1258	1212	1169	1129
4,5	1110	1124	1137	1151	1165	1179	1193	1152	1111	1072	1035
5,0	984	997	1009	1021	1033	1045	1058	1062	1024	989	956
5,5	881	892	903	915	927	939	951	963	953	920	889
6,0	797	807	817	828	839	850	861	872	884	860	831
6,5	726	735	744	754	764	774	784	795	806	808	780
7,0	666	674	683	692	701	710	719	728	738	748	733
7,5	615	623	631	638	647	655	663	672	681	690	692
8,0	571	578	585	592	599	607	615	623	630	637	645
9,0	497	503	509	515	521	528	535	542	549	556	563
10,0	439	445	450	456	461	467	473	479	485	491	497
$\lambda_к$	2,071	2,360	2,678	3,031	3,432	3,906	4,464	5,113	5,859	6,711	7,681
p_{max}	3942	3741	3558	3394	3247	3114	2990	2875	2768	2670	2580

$\Lambda = 0{,}80$

λ	B										
	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0
0,1	2298	2218	2143	2073	2009	1949	1893	1841	1791	1747	1705
0,2	3153	3031	2913	2804	2701	2607	2520	2434	2355	2285	2220
0,3	3620	3459	3311	3175	3050	2934	2822	2727	2648	2548	2470
0,4	3850	3673	3508	3359	3222	3097	2978	2869	2768	2674	2588
0,5	3940	3750	3579	3423	3281	3149	3027	2913	2809	2714	2625
0,6	3948	3751	3577	3420	3275	3141	3017	2904	2798	2701	2612
0,7	3898	3700	3535	3379	3235	3105	2980	2867	2761	2663	2575
0,8	3820	3631	3458	3303	3163	3033	2913	2803	2700	2605	2515
0,9	3730	3540	3371	3218	3080	2953	2837	2729	2628	2536	2450
1,0	3625	3440	3275	3125	2990	2866	2753	2648	2548	2458	2373
1,5	3105	2953	2815	2689	2574	2468	2370	2279	2196	2120	2050
2,0	2672	2543	2426	2320	2223	2134	2051	1974	1903	1858	1778
2,5	2236	2222	2127	2038	1955	1878	1805	1837	1673	1614	1560
3,0	1824	1847	1870	1808	1735	1666	1602	1542	1486	1434	1386
3,5	1532	1551	1569	1588	1557	1496	1439	1385	1335	1288	1245
4,0	1316	1332	1348	1364	1380	1352	1300	1252	1208	1167	1129
4,5	1150	1165	1179	1194	1208	1223	1193	1150	1109	1070	1034
5,0	1019	1033	1046	1059	1072	1085	1099	1061	1023	988	956
5,5	912	924	936	948	960	972	984	984	951	920	890
6,0	824	835	847	859	871	883	895	907	890	860	832
6,5	751	761	771	781	792	803	814	825	834	806	780
7,0	689	698	707	716	726	736	747	757	768	758	733
7,5	636	644	653	661	670	679	688	697	706	715	690
8,0	590	598	606	614	622	630	638	646	653	661	650
9,0	514	520	527	533	540	917	554	561	568	575	582
10,0	454	460	466	472	478	484	490	496	502	508	514
$\lambda_к$	2,289	2,599	2,940	3,329	3,791	4,336	4,973	5,705	6,545	7,501	8,593
p_{max}	3951	3755	3581	3425	3283	3152	3029	2915	2810	2714	2615

$\Delta = 0{,}82$

λ	B										
	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2
0,1	2259	2183	2115	2051	1991	1935	1883	1835	1791	1752	1715
0,2	3081	2963	2852	2750	2656	2564	2480	2404	2335	2268	2209
0,3	3505	3358	3222	3098	2983	2876	2777	2685	2601	2524	2452
0,4	3710	3548	3400	3265	3138	3022	2915	2815	2723	2637	2557
0,5	3784	3616	3462	3320	3189	3067	2957	2854	2759	2673	2592
0,6	3777	3607	3451	3307	3175	3054	2942	2839	2744	2653	2571
0,7	3729	3561	3407	3267	3134	3013	2901	2797	2703	2613	2533
0,8	3642	3475	3324	3186	3058	2941	2832	2731	2637	2553	2473
0,9	3544	3381	3233	3098	2974	2860	2753	2655	2565	2482	2404
1,0	3443	3283	3138	3006	2885	2774	2669	2574	2486	2407	2333
1,5	2948	2817	2697	2585	2481	2385	2296	2214	2139	2070	2006
2,0	2532	2422	2322	2230	2144	2063	1887	1916	1850	1789	1733
2,5	2212	2118	2031	1950	1874	1803	1737	1676	1620	1568	1519
3,0	1915	1877	1800	1728	1661	1598	1540	1486	1436	1390	1347
3,5	1607	1627	1613	1548	1488	1433	1382	1334	1289	1247	1208
4,0	1380	1397	1414	1402	1348	1298	1252	1209	1168	1130	1095
4,5	1206	1221	1236	1251	1233	1187	1145	1106	1069	1035	1003
5,0	1068	1082	1097	1112	1127	1098	1059	1022	988	956	926
5,5	957	970	984	998	1012	1022	985	951	919	889	861
6,0	866	879	891	903	916	929	920	888	858	830	804
6,5	789	801	812	821	836	848	859	834	804	777	752
7,0	723	734	744	755	765	775	786	784	755	729	707
7,5	667	676	685	695	704	714	723	732	711	687	665
8,0	618	626	634	642	650	658	666	674	670	647	627
9,0	537	544	551	558	565	572	579	587	595	590	571
10,0	475	481	487	493	499	506	512	518	525	531	520
$\lambda_к$	2,851	3,226	3,670	4,201	4,825	5,544	6,371	7,312	8,387	9,628	11,08
p_{max}	3788	3620	3466	3324	3192	3069	2957	2855	2761	2674	2593

$\Lambda = 0{,}84$

λ	B										
	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4
0,1	2232	2164	2100	2040	1984	1932	1885	1842	1802	1766	1730
0,2	3016	2905	2803	2705	2615	2533	2458	2389	2326	2267	2213
0,3	3412	3278	3155	3041	2935	2837	2747	2663	2585	2512	2445
0,4	3592	3445	3309	3185	3070	2964	2866	2776	2692	2615	2543
0,5	3653	3501	3361	3232	3114	3005	2904	2812	2726	2646	2571
0,6	3641	3487	3346	3217	3097	2987	2886	2791	2705	2624	2548
0,7	3588	3437	3297	3168	3049	2939	2839	2745	2659	2579	2504
0,8	3499	3351	3215	3090	2975	2868	2770	2679	2595	2516	2443
0,9	3402	3258	3126	3004	2891	2787	2692	2606	2522	2446	2376
1,0	3301	3161	3032	2914	2803	2702	2609	2523	2443	2369	2300
1,5	2818	2700	2591	2490	2397	2311	2232	2159	2091	2027	1967
2,0	2423	2325	2234	2149	2069	1994	1924	1859	1799	1744	1693
2,5	2108	2022	1943	1870	1802	1739	1681	1627	1576	1528	1483
3,0	1868	1792	1722	1657	1657	1596	1540	1488	1440	1395	1313
3,5	1673	1605	1543	1485	1431	1381	1334	1290	1248	1209	1173
4,0	1445	1453	1396	1344	1296	1251	1208	1168	1131	1097	1065
4,5	1267	1285	1274	1228	1185	1144	1105	1069	1035	1004	975
5,0	1122	1137	1152	1135	1094	1056	1020	986	954	925	849
5,5	1007	1021	1036	1050	1017	981	947	916	887	860	835
6,0	908	922	936	950	951	916	884	885	829	805	782
6,5	830	842	854	866	878	858	828	801	776	753	731
7,0	760	770	781	791	802	807	778	752	728	706	686
7,5	699	709	718	727	737	747	732	707	684	663	645
8,0	647	655	663	671	679	687	690	666	645	627	610
9,0	562	569	576	584	591	599	607	606	586	568	552
10,0	497	504	510	517	523	529	536	543	536	520	506
$\lambda_к$	3,547	4,063	4,673	5,380	6,193	7,117	8,172	9,396	10,81	12,47	14,41
p_{max}	3657	3505	3364	3234	3115	3006	2906	2814	2728	2648	2573

$\Delta = 0{,}86$

λ	B										
	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6
0,1	2218	2153	2093	2037	1986	1940	1897	1858	1822	1787	1753
0,2	2965	2861	2765	2677	2569	2525	2457	2395	2337	2283	2232
0,3	3347	3224	3110	3004	2906	2815	2731	2652	2579	2511	2449
0,4	3499	3364	3241	3129	3024	2928	2839	2756	2680	2610	2545
0,5	3548	3411	3285	3169	3061	2962	2871	2786	2706	2633	2566
0,6	3531	3392	3264	3147	3038	2939	2846	2759	2678	2604	2535
0,7	3471	3334	3207	3091	2083	2886	2793	2707	2628	2554	2485
0,8	3386	3253	3130	3016	2911	2814	2724	2641	2564	2492	2424
0,9	3290	3160	3040	2929	2828	2733	2646	2564	2489	2419	2353
1,0	3188	3060	2942	2834	2735	2644	2558	2479	2406	2338	2274
1,5	2708	2601	2503	2413	2330	2253	2181	2113	2049	1989	1932
2,0	2324	2234	2150	2072	1999	1931	1868	1810	1756	1706	1659
2,5	2017	1940	1869	1804	1744	1688	1635	1585	1538	1494	1453
3,0	1789	1718	1655	1597	1543	1493	1446	1402	1361	1322	1286
3,5	1600	1538	1482	1430	1381	1335	1292	1252	1215	1181	1150
4,0	1448	1393	1342	1294	1249	1207	1168	1132	1098	1067	1039
4,5	1323	1273	1226	1182	1141	1103	1068	1035	1005	977	952
5,0	1175	1173	1130	1090	1052	1017	984	953	925	900	877
5,5	1055	1071	1050	1012	977	944	913	885	860	837	816
6,0	953	967	981	914	910	879	851	825	802	781	761
6,5	868	880	893	884	852	823	796	771	749	729	711
7,0	792	803	815	827	801	773	748	725	705	687	670
7,5	732	742	752	762	755	728	704	682	663	646	631
8,0	674	683	692	701	710	686	663	643	626	611	597
9,0	588	596	604	611	619	623	602	583	566	551	538
10,0	518	525	532	539	546	553	551	534	519	505	493
$\lambda_к$	4,522	5,215	6,010	6,917	7,947	9,149	10,52	12,14	14,04	16,25	18,80
p_{max}	3551	3413	3286	3169	3061	2962	2871	2786	2707	2634	2566

$\Lambda = 0{,}88$

λ	B										
	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8
0,1	2206	2146	2090	2041	1996	1955	1919	1882	1846	1812	1779
0,2	2932	2838	2751	2674	2600	2534	2471	2413	2358	2306	2257
0,3	3297	3183	3077	2978	2888	2802	2703	2649	2582	2519	2460
0,4	3431	3310	3197	3093	2998	2909	2828	2752	2683	2118	2555
0,5	3470	3345	3230	3124	3026	2935	2851	2774	2702	2635	2571
0,6	3141	3316	3200	3094	2994	2901	2815	2736	2663	2594	2529
0,7	3375	3251	3137	3036	2937	2845	2760	2680	2608	2539	2474
0,8	3293	3171	3058	2953	2857	2770	2689	2613	2541	2473	2409
0,9	3192	3073	2966	2865	2773	2687	2608	2534	2464	2398	2335
1,0	3087	2971	2865	2770	2680	2597	2520	2447	2379	2314	2253
1,5	2618	2522	2433	2350	2272	2199	2131	2067	2006	1949	1896
2,0	2238	2156	2079	2007	1940	1878	1821	1768	1719	1673	1630
2,5	1938	1871	1809	1751	1696	1644	1595	1549	1506	1465	1427
3,0	1717	1656	1600	1548	1499	1453	1410	1370	1332	1296	1253
3,5	1535	1481	1430	1382	1337	1295	1256	1220	1187	1157	1130
4,0	1388	1338	1291	1247	1206	1168	1133	1101	1072	1046	1023
4,5	1268	1222	1179	1139	1102	1067	1035	10 06	979	955	934
5,0	1167	1125	1086	1050	1016	984	955	929	905	883	863
5,5	1086	1044	1006	972	841	913	887	864	842	821	801
6,0	1004	974	937	904	874	847	823	802	782	763	746
6,5	911	911	877	846	818	792	769	749	731	714	698
7,0	831	849	824	795	769	746	725	706	689	673	658
7,5	769	781	779	752	727	705	685	667	651	636	622
8,0	707	717	727	710	687	666	647	630	614	599	586
9,0	615	623	631	640	619	600	583	568	554	541	529
10,0	542	549	556	564	568	549	533	519	506	493	482
$\lambda_к$	5,813	6,701	7,710	8,890	10,22	11,80	13,64	15,79	18,28	21,16	24,49
p_{max}	3470	3346	3231	3125	3027	2936	2852	2774	2702	2635	2572

$\Delta = 0{,}90$

λ	B										
	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9
0,1	2260	2199	2146	2099	2057	2018	1981	1943	1907	1873	1841
0,2	3016	2922	2836	2756	2684	2615	2552	2493	2437	2384	2335
0,3	3374	3260	3153	3057	2965	2880	2800	2727	2658	2593	2533
0,4	3506	3385	3273	3170	3074	2987	2905	2830	2760	2693	2629
0,5	3537	3412	3299	3195	3096	3004	2921	2845	2773	2704	2640
0,6	3496	3372	3259	3153	3044	2962	2877	2799	2726	2657	2591
0,7	3423	3302	3194	3089	2991	2900	2814	2737	2664	2595	2530
0,8	3331	3210	3099	2997	2904	2818	2738	2662	2590	2521	2457
0,9	3221	3106	3001	2904	2814	2730	2652	2578	2508	2441	2378
1,0	3115	3003	2903	2808	2720	2639	2562	2490	2421	2356	2294
1,5	2638	2542	2453	2370	2292	2219	2150	2085	2024	1967	1914
2,0	2243	2164	2089	2019	1953	1891	1833	1780	1731	1686	1644
2,5	1942	1876	1815	1758	1704	1653	1605	1560	1517	1477	1440
3,0	1716	1658	1604	1553	1505	1460	1418	1378	1341	1307	1275
3,5	1534	1480	1429	1382	1338	1297	1260	1226	1195	1167	1142
4,0	1384	1335	1289	1246	1206	1169	1136	1106	1079	1055	1033
4,5	1262	1217	1175	1136	1100	1067	1037	1009	984	962	942
5,0	1161	1120	1082	1046	1013	983	956	931	908	887	868
5,5	1076	1037	1001	968	938	911	886	863	842	823	805
6,0	1002	965	931	899	870	844	821	801	783	766	750
6,5	937	902	870	840	813	789	768	749	732	716	702
7,0	857	847	817	789	764	742	723	706	690	675	661
7,5	790	801	773	747	723	702	684	668	653	638	624
8,0	732	742	733	709	687	667	649	632	617	603	590
9,0	633	642	650	637	617	599	584	570	557	545	533
10,0	558	566	574	583	565	548	533	520	508	497	486
$\gamma_к$	6,475	7,461	8,617	9,891	11,40	13,38	15,26	17,69	20,51	23,78	27,58
p_{max}	3538	3415	3302	3197	3099	3008	2924	2847	2775	2707	2643

$\Delta = 0{,}92$

λ	B										
	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0
0,1	2324	2267	2217	2172	2129	2089	2048	2010	1974	1940	1907
0,2	3105	3009	2923	2845	2770	2701	2637	2577	2520	2466	2413
0,3	3457	3343	3239	3139	3047	2961	2882	2807	2737	2671	2609
0,4	3587	3467	3357	3253	3158	3070	2980	2913	2840	2771	2707
0,5	3608	3486	3374	3267	3169	3080	2999	2921	2846	2777	2712
0,6	3556	3435	3321	3205	3118	3027	2943	2865	2792	2722	2655
0,7	3479	3361	3249	3145	3048	2956	2873	2796	2723	2654	2586
0,8	3374	3256	3148	3049	2957	2871	2791	2715	2642	2573	2507
0,9	3258	3146	3043	2948	2858	2776	2698	2624	2553	2486	2424
1,0	3151	3043	2942	2850	2764	2683	2607	2534	2465	2399	2336
1,5	2657	2562	2473	2389	2310	2236	2167	2102	2041	1984	1931
2,0	2253	2174	2100	2030	1964	1908	1846	1793	1745	1701	1661
2,5	1945	1880	1819	1762	1708	1658	1611	1567	1526	1488	1452
3,0	1716	1659	1606	1556	1509	1465	1424	1385	1349	1316	1286
3,5	1531	1479	1430	1385	1343	1304	1268	1235	1205	1178	1153
4,0	1380	1333	1289	1248	1210	1175	1143	1114	1088	1064	1043
4,5	1257	1213	1172	1134	1099	1067	1038	1012	989	969	951
5,0	1156	1116	1079	1045	1014	985	958	934	912	892	874
5,5	1069	1032	998	966	937	911	887	865	845	827	810
6,0	993	958	926	897	870	846	824	804	786	770	755
6,5	928	895	865	838	813	791	771	753	737	722	708
7,0	871	840	812	786	762	741	723	707	692	678	665
7,5	813	794	768	744	722	703	685	669	654	640	627
8,0	753	752	728	706	686	668	651	635	620	606	593
9,0	652	660	654	634	617	601	586	572	559	547	536
10,0	575	582	590	580	563	548	534	521	510	499	489
$\lambda_к$	7,200	8,329	9,564	10,99	12,71	14,73	17,10	19,86	23,07	26,81	31,17
p_{max}	3612	3490	3376	3270	3172	3082	2999	2922	2849	2780	2714

$\lambda=0{,}94$

λ	B										
	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0
0,1	2473	2409	2352	2300	2252	2207	2163	2122	2082	2044	2007
0,2	3299	3197	3103	3018	2973	2862	2792	2726	2663	2604	2547
0,3	3668	3545	3431	3323	3223	3131	3046	2965	2889	2817	2749
0,4	3804	3675	3556	3444	3341	3246	3158	3075	2996	2922	2852
0,5	3818	3686	3564	3451	3346	3250	3161	3077	2998	2923	2851
0,6	3756	3625	3503	3379	3285	3188	3098	3014	2935	2860	2789
0,7	3668	3558	3418	3308	3205	3109	3020	2937	2859	2786	2714
0,8	3552	3427	3312	3206	3108	3016	2930	2849	2772	2699	2629
0,9	3426	3306	3196	3095	3000	2912	2829	2751	2676	2605	2538
1,0	3309	3192	3085	2987	2895	2809	2728	2651	2578	2508	2441
1,5	2778	2676	2580	2490	2405	2325	2250	2180	2115	2054	1997
2,0	2345	2260	2181	2107	2038	1974	1915	1860	1809	1761	1717
2,5	2016	1946	1881	1820	1763	1710	1661	1616	1574	1535	1499
3,0	1775	1715	1659	1607	1558	1512	1469	1429	1392	1358	1326
3,5	1583	1529	1479	1432	1388	1347	1309	1274	1242	1213	1189
4,0	1426	1377	1331	1289	1250	1213	1179	1148	1120	1095	1073
4,5	1299	1255	1214	1175	1138	1104	1073	1045	1020	998	979
5,0	1192	1151	1113	1073	1045	1015	986	961	938	918	900
5,5	1101	1063	1027	994	964	936	911	889	869	850	833
6,0	1023	988	955	924	896	871	848	828	810	793	777
6,5	954	921	890	862	833	813	792	773	756	741	727
7,0	893	864	835	808	784	762	743	726	710	696	683
7,5	824	816	789	765	743	722	703	686	671	657	644
8,0	763	773	747	724	703	684	667	651	636	622	609
9,0	662	671	673	653	634	617	602	588	575	562	550
10,0	584	592	600	596	579	563	549	536	524	513	502
$\lambda_к$	6,927	8,023	9,231	10,66	12,34	14,31	16,62	19,32	22,45	26,08	30,29
p_{max}	3821	3690	3568	3454	3349	3252	3163	3080	3001	2926	2855

Таблица 6

Значения скорости пули

$$v_{\text{табл}} = v\sqrt{\frac{\varphi q}{\omega}}$$

$\Lambda = 0{,}68$

λ	B										
	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
0,1	206	202	198	195	192	189	186	184	182	180	178
0,2	347	338	330	322	315	309	304	299	294	290	286
0,3	467	453	441	430	420	411	404	390	386	384	378
0,4	569	553	538	524	512	501	491	481	472	463	455
0,5	662	642	624	607	592	579	567	555	544	534	525
0,6	747	723	701	681	663	648	634	621	609	598	587
0,7	824	795	770	748	728	710	695	681	668	655	643
0,8	893	861	833	809	787	767	750	735	721	707	694
0,9	955	921	892	866	842	821	802	785	770	755	741
1,0	1010	976	946	919	894	872	851	832	815	799	784
1,5	1233	1198	1163	1130	1098	1068	1041	1016	993	973	955
2,0	1377	1345	1311	1277	1244	1213	1184	1157	1131	1107	1085
2,5	1475	1447	1416	1384	1354	1324	1296	1270	1245	1220	1195
3,0	1550	1526	1498	1469	1441	1413	1387	1362	1336	1310	1284
3,5	1612	1589	1563	1537	1511	1485	1459	1434	1409	1384	1358
4,0	1661	1639	1616	1592	1568	1543	1518	1493	1468	1443	1420
4,5	1703	1682	1661	1638	1615	1592	1567	1542	1518	1494	1472
5,0	1740	1719	1699	1678	1656	1633	1609	1585	1561	1538	1515
5,5	1772	1752	1732	1712	1691	1669	1646	1623	1600	1577	1554
6,0	1800	1781	1762	1742	1722	1701	1679	1656	1634	1612	1589
6,5	1825	1807	1788	1769	1750	1729	1708	1686	1664	1643	1620
7,0	1848	1830	1812	1794	1774	1754	1734	1713	1692	1671	1648
7,5	1869	1851	1834	1816	1797	1778	1758	1737	1717	1696	1674

$\lambda = 0{,}68$

λ	B										
	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	**2,4**
8,0	1889	1872	1854	1836	1817	1798	1779	1760	1740	1719	1697
9,0	1922	1906	1889	1872	1854	1836	1818	1799	1779	1759	1738
10,0	1951	1935	1919	1903	1886	1869	1851	1833	1814	1794	1774
11,0	1977	1962	1946	1930	1914	1897	1879	1862	1844	1825	1805
12,0	2000	1985	1970	1954	1938	1921	1904	1887	1870	1852	1833
13,0	2021	2006	1991	1975	1959	1943	1927	1910	1893	1875	1857
14,0	2040	2025	2010	1995	1979	1964	1948	1931	1914	1897	1880
15,0	2057	2043	2028	2013	1998	1983	1967	1951	1934	1918	1901
16,0	2073	2059	2044	2030	2015	2000	1984	1969	1953	1937	1921
17,0	2087	2073	2059	2045	2030	2015	2000	1986	1971	1955	1939
18,0	2100	2086	2073	2059	2045	2030	2015	2001	1986	1971	1955
19,0	2112	2098	2085	2072	2058	2044	2029	2015	2001	1986	1970
20,0	**2123**	2110	2097	2084	**2070**	**2056**	**2042**	**2028**	2014	1999	1984
$\lambda_к$	1,196	1,380	1,588	1,820	2,078	2,362	2,672	3,012	3,393	3,833	4,350
$v_к$	1115	1154	1191	1227	1262	1297	1331	1364	1396	1427	1458

λ	B										
	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
0,1	204	200	196	193	190	187	185	183	181	179	177
0,2	342	333	225	318	312	307	302	297	292	288	284
0,3	459	446	435	425	416	408	401	394	388	382	376
0,4	561	545	531	519	507	496	486	477	468	460	452
0,5	652	632	615	600	586	573	561	550	539	529	520
0,6	733	710	690	672	656	641	628	615	603	592	582
0,7	807	780	757	737	719	703	688	674	661	649	638
0,8	874	844	818	797	778	760	743	727	713	700	688
0,9	934	904	877	853	831	812	794	777	761	747	734
1,0	990	959	930	905	882	861	841	822	805	790	776
1,5	1214	1178	1144	1111	1080	1052	1026	1002	981	962	945
2,0	1359	1325	1290	1275	1225	1196	1169	1143	1118	1095	1074
2,5	1461	1430	1398	1367	1336	1308	1282	1256	1230	1206	1182
3,0	1538	1510	1482	1453	1426	1400	1374	1347	1320	1294	1269
3,5	1600	1575	1549	1523	1497	1472	1447	1421	1395	1368	1342
4,0	1651	1628	1604	1580	1555	1530	1505	1480	1455	1430	1404
4,5	1694	1672	1650	1627	1603	1579	1554	1529	1505	1482	1457
5,0	1731	1710	1687	1667	1644	1621	1597	1573	1549	1525	1501
5,5	1764	1744	1723	1702	1680	1657	1634	1611	1587	1564	1540
6,0	1792	1773	1753	1732	1711	1689	1667	1644	1621	1598	1575
6,5	1817	1798	1779	1759	1739	1718	1696	1673	1651	1628	1605
7,0	1840	1823	1804	1784	1764	1744	1722	1700	1678	1656	1633
7,5	1861	1843	1825	1806	1787	1768	1747	1726	1704	1682	1659
8,0	1882	1864	1846	1827	1808	1789	1769	1749	1728	1706	1683
9,0	1916	1899	1881	1863	1845	1827	1808	1789	1768	1747	1725
10,0	1945	1929	1912	1895	1878	1860	1842	1823	1803	1783	1762
11,0	1971	1955	1939	1922	1905	1888	1870	1852	1833	1814	1794
12,0	1994	1978	1962	1946	1930	1913	1895	1877	1859	1841	1822
13,0	2015	2000	1984	1969	1953	1936	1918	1900	1883	1865	1847
14,0	2034	2019	2003	1988	1973	1957	1940	1922	1905	1887	1870
15,0	2051	2036	2021	2006	1991	1975	1959	1942	1925	1908	1891
16,0	2067	2052	2038	2023	2008	1992	1977	1961	1944	1928	1911
17,0	2081	2067	2053	2039	2024	2008	1993	1978	1962	1946	1929
18,0	2094	2081	2067	2053	2038	2023	2009	1994	1978	1962	1945
19,0	2106	2093	2080	2066	2052	2037	2023	2008	1993	1977	1961
20,0	2118	2105	2092	2078	2064	2050	2036	2021	2006	1991	1975
$\lambda_к$	1,346	1,548	1,775	2,028	2,308	2,616	2,954	3,330	3,764	4,274	4,871
$v_к$	1155	1193	1229	1264	1299	1333	1366	1398	1429	1460	1490

$\varkappa = 0{,}72$

λ	B										
	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
0,1	202	198	194	191	188	186	184	182	180	178	176
0,2	337	329	322	316	310	305	300	295	291	287	283
0,3	451	439	429	420	412	404	397	391	385	379	373
0,4	551	536	523	512	502	491	481	472	464	456	449
0,5	640	622	607	593	580	567	555	544	534	525	517
0,6	712	698	680	664	649	635	622	610	598	587	578
0,7	791	766	745	727	711	696	682	669	656	644	633
0,8	857	829	806	786	768	752	737	723	709	696	683
0,9	917	888	863	841	821	803	786	771	756	742	729
1,0	972	943	917	893	871	851	832	815	800	786	773
1,5	1192	1157	1124	1093	1064	1038	1014	993	974	957	941
2,0	1340	1304	1270	1238	1209	1182	1156	1131	1107	1086	1067
2,5	1444	1410	1378	1349	1322	1296	1269	1242	1217	1193	1171
3,0	1524	1494	1466	1439	1413	1387	1360	1333	1306	1280	1256
3,5	1588	1563	1537	1511	1485	1459	1433	1407	1380	1353	1328
4,0	1640	1617	1593	1568	1542	1517	1492	1467	1441	1515	1389
4,5	1685	1693	1639	1615	1590	1566	1541	1517	1492	1467	1441
5,0	1722	1701	1678	1655	1631	1607	1583	1559	1535	1511	1486
5,5	1755	1734	1712	1690	1667	1643	1620	1596	1572	1549	1525
6,0	1783	1763	1742	1721	1699	1676	1653	1629	1606	1583	1560
6,5	1809	1789	1769	1749	1728	1706	1683	1660	1637	1614	1591
7,0	1833	1814	1794	1774	1754	1733	1711	1688	1665	1642	1619
7,5	1854	1835	1816	1797	1778	1757	1736	1714	1691	1668	1645
8,0	1874	1856	1837	1818	1799	1779	1759	1738	1716	1693	1669
9,0	1909	1891	1873	1855	1836	1817	1797	1776	1755	1733	1712
10,0	1938	1921	1904	1887	1869	1850	1831	1811	1791	1770	1749
11,0	1965	1948	1931	1914	1897	1879	1861	1842	1823	1803	1783
12,0	1987	1971	1954	1937	1921	1904	1887	1869	1851	1832	1812
13,0	2008	1992	1976	1960	1944	1927	1910	1892	1874	1855	1837
14,0	2027	2012	1996	1980	1965	1949	1932	1914	1896	1878	1860
15,0	2044	2029	2014	1999	1983	1967	1950	1933	1916	1898	1880
16,0	2060	2045	2031	2016	2000	1984	1968	1952	1935	1917	1899
17,0	2075	2060	2046	2031	2015	2000	1985	1969	1952	1935	1917
18,0	2088	2074	2060	2045	2030	2015	2000	1984	1968	1951	1934
19,0	2101	2087	2073	2058	2044	2029	2014	1999	1983	1967	1950
20,0	2113	2099	2085	2071	2057	2043	2028	2013	1998	1982	1966
$\lambda_к$	1,506	1,728	1,977	2,253	2,557	2,891	3,263	3,691	4,193	4,782	5,463
$v_к$	1195	1231	1266	1301	1335	1368	1400	1431	1462	1492	1522

$\Delta = 0{,}74$

λ	B										
	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7
0,1	200	196	193	190	188	186	184	182	180	178	176
0,2	333	326	320	314	309	304	299	295	291	287	283
0,3	444	433	424	417	410	403	396	390	384	378	373
0,4	545	532	520	508	498	488	479	471	463	456	449
0,5	633	617	602	588	575	563	552	542	533	524	516
0,6	710	691	674	658	644	631	619	607	596	586	577
0,7	778	758	738	721	706	692	679	666	654	643	632
0,8	841	818	797	779	763	748	734	720	707	694	682
0,9	901	875	852	832	818	799	783	768	754	740	727
1,0	958	930	905	883	863	844	827	812	797	783	769
1,5	1173	1138	1106	1077	1051	1027	1005	985	967	950	934
2,0	1318	1284	1252	1223	1196	1170	1145	1121	1099	1079	1060
2,5	1424	1393	1364	1337	1310	1283	1256	1231	1207	1184	1162
3,0	1508	1480	1453	1427	1401	1374	1347	1321	1295	1270	1245
3,5	1576	1550	1524	1498	1473	1447	1421	1395	1368	1342	1316
4,0	1629	1605	1580	1554	1529	1505	1480	1454	1428	1402	1376
4,5	1674	1650	1626	1601	1576	1552	1528	1503	1478	1452	1426
5,0	1712	1689	1666	1642	1617	1593	1569	1545	1521	1495	1469
5,5	1745	1723	1701	1678	1654	1630	1606	1582	1558	1533	1508
6,0	1775	1754	1732	1710	1687	1663	1640	1616	1593	1569	1544
6,5	1801	1781	1760	1739	1717	1694	1670	1647	1624	1600	1576
7,0	1825	1805	1785	1765	1744	1721	1698	1675	1652	1628	1605
7,5	1847	1827	1808	1788	1768	1746	1724	1701	1678	1654	1631
8,0	1866	1847	1828	1809	1789	1768	1747	1725	1702	1678	1655
9,0	1901	1883	1865	1846	1826	1806	1785	1764	1743	1721	1698
10,0	1931	1914	1896	1878	1860	1841	1821	1800	1779	1758	1736
11,0	1958	1941	1923	1906	1888	1870	1851	1831	1811	1791	1770
12,0	1981	1964	1947	1931	1914	1896	1877	1858	1839	1820	1800
13,0	2002	1986	1969	1953	1936	1918	1900	1882	1863	1845	1826
14,0	2021	2005	1989	1973	1957	1939	1921	1903	1885	1867	1849
15,0	2038	2023	2007	1991	1975	1958	1941	1924	1906	1888	1870
16,0	2054	2039	2024	2008	1992	1976	1960	1943	1925	1907	1889
17,0	2069	2054	2039	2023	2007	1991	1976	1960	1943	1925	1907
18,0	2083	2068	2053	2038	2022	2007	1992	1976	1959	1942	1924
19,0	2095	2081	2066	2052	2036	2021	2006	1990	1974	1957	1940
20,0	2107	2093	2079	2065	2049	2034	2019	2004	1988	1972	1955
$\lambda_к$	1,676	1,920	2,192	2,494	2,826	3,193	3,615	4,109	4,689	5,361	6,131
$v_к$	1232	1268	1303	1337	1370	1402	1433	1464	1494	1524	1553

\=0,76

λ	B										
	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8
0,1	198	195	192	189	187	185	183	181	179	177	175
0,2	333	324	318	312	307	302	297	293	289	285	282
0,3	441	431	423	415	408	401	395	389	383	377	372
0,4	539	526	515	505	495	486	477	469	461	454	447
0,5	625	610	596	583	571	560	550	540	531	522	514
0,6	700	683	667	652	639	627	616	605	594	584	575
0,7	768	748	731	716	702	689	676	664	652	641	630
0,8	830	808	790	774	759	744	730	716	703	691	679
0,9	889	865	844	825	808	793	778	763	749	736	724
1,0	945	919	895	874	855	838	822	807	792	778	765
1,5	1154	1121	1091	1063	1038	1016	996	978	961	945	929
2,0	1300	1268	1238	1210	1184	1159	1135	1112	1091	1071	1052
2,5	1408	1379	1351	1325	1298	1271	1245	1220	1196	1173	1151
3,0	1494	1467	1441	1415	1388	1361	1334	1308	1282	1257	1233
3,5	1563	1537	1512	1487	1461	1434	1408	1381	1354	1327	1301
4,0	1618	1593	1568	1543	1518	1492	1466	1440	1413	1386	1359
4,5	1663	1639	1614	1590	1566	1541	1515	1489	1462	1435	1408
5,0	1702	1679	1655	1631	1607	1583	1558	1532	1505	1478	1452
5,5	1735	1713	1691	1668	1644	1620	1595	1570	1544	1518	1492
6,0	1766	1744	1722	1699	1675	1652	1628	1604	1579	1553	1528
6,5	1793	1772	1750	1728	1705	1682	1658	1635	1611	1586	1561
7,0	1817	1796	1775	1754	1732	1709	1686	1663	1640	1615	1591
7,5	1839	1819	1798	1777	1756	1734	1711	1688	1665	1641	1617
8,0	1858	1839	1819	1798	1777	1756	1734	1711	1688	1665	1641
9,0	1893	1875	1856	1836	1815	1794	1773	1751	1729	1707	1684
10,0	1924	1906	1888	1869	1849	1829	1808	1787	1766	1744	1722
11,0	1951	1933	1916	1898	1879	1859	1839	1819	1799	1778	1757
12,0	1975	1958	1941	1923	1904	1885	1866	1847	1828	1808	1788
13,0	1996	1979	1963	1946	1928	1909	1891	1872	1853	1834	1814
14,0	2015	1999	1983	1966	1948	1930	1912	1894	1876	1857	1838
15,0	2032	2016	2000	1984	1967	1950	1933	1915	1898	1879	1860
16,0	2048	2032	2016	2000	1984	1968	1951	1934	1916	1898	1879
17,0	2063	2047	2031	2016	2000	1984	1968	1951	1934	1916	1897
18,0	2077	2061	2046	2030	2015	2000	1984	1967	1950	1932	1914
19,0	2089	2074	2060	2045	2029	2014	1998	1981	1964	1947	1930
20,0	2101	2087	2073	2057	2042	2027	2011	1995	1979	1962	1945
$\lambda_к$	1,866	2,132	2,428	2,754	3,114	3,526	4,010	4,579	5,240	5,999	6,865
$v_к$	1269	1304	1338	1371	1403	1434	1465	1495	1525	1554	1583

$\Delta = 0{,}78$

λ	B										
	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
0,1	197	194	191	188	186	184	182	180	178	176	174
0,2	328	322	316	310	305	300	295	291	287	284	281
0,3	438	429	421	413	406	399	393	387	381	376	371
0,4	534	523	512	502	493	485	476	468	460	453	446
0,5	619	605	592	580	569	559	549	539	530	521	513
0,6	694	678	664	650	637	625	613	602	592	582	573
0,7	761	743	727	712	698	684	671	659	647	536	626
0,8	823	802	784	768	753	738	724	711	698	686	675
0,9	880	857	837	819	823	788	773	759	745	732	719
1,0	933	908	886	867	850	834	818	803	788	774	761
1,5	1138	1106	1077	1051	1029	1009	990	972	955	939	924
2,0	1284	1254	1226	1199	1173	1148	1125	1103	1082	1063	1045
2,5	1395	1367	1340	1312	1284	1258	1233	1209	1186	1163	1142
3,0	1483	1456	1429	1401	1374	1347	1321	1285	1270	1245	1222
3,5	1552	1526	1500	1473	1446	1419	1393	1366	1339	1313	1288
4,0	1607	1582	1556	1530	1504	1478	1452	1425	1397	1370	1344
4,5	1653	1628	1603	1577	1552	1526	1500	1473	1446	1419	1393
5,0	1692	1668	1643	1618	1593	1568	1543	1517	1490	1463	1437
5,5	1726	1703	1679	1655	1630	1605	1581	1556	1530	1503	1477
6,0	1756	1734	1711	1688	1664	1640	1616	1591	1565	1539	1514
6,5	1784	1762	1740	1717	1694	1670	1647	1623	1598	1572	1547
7,0	1808	1787	1766	1744	1721	1698	1675	1651	1627	1602	1577
7,5	1830	1809	1788	1767	1745	1723	1700	1676	1653	1629	1604
8,0	1849	1829	1808	1787	1766	1744	1721	1698	1675	1652	1628
9,0	1885	1866	1846	1825	1805	1783	1761	1739	1717	1694	1671
10,0	1916	1898	1879	1859	1839	1818	1797	1776	1754	1732	1710
11,0	1943	1926	1908	1889	1869	1849	1829	1808	1787	1766	1744
12,0	1968	1951	1933	1914	1895	1876	1857	1837	1816	1795	1774
13,0	1990	1973	1955	1937	1918	1899	1881	1862	1843	1823	1801
14,0	2008	1992	1975	1957	1939	1921	1903	1885	1866	1847	1825
15,0	2025	2009	1992	1975	1958	1941	1923	1905	1887	1868	1847
16,0	2041	2025	2008	1992	1976	1959	1942	1924	1906	1887	1867
17,0	2055	2040	2024	2008	1992	1976	1959	1942	1924	1905	1886
18,0	2069	2054	2039	2023	2007	1991	1975	1958	1940	1922	1903
19,0	2083	2068	2053	2037	2021	2005	1989	1972	1955	1938	1919
20,0	2095	2081	2066	2051	2035	2019	2003	1987	1970	1953	1935
$\lambda_к$	2,071	2,360	2,678	3,031	3,432	3,906	4,464	5,113	5,859	6,711	7,681
$v_к$	1305	1339	1372	1404	1436	1467	1497	1527	1556	1586	1613

$\Lambda = 0{,}80$

λ	B										
	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0
0,1	196	193	190	188	186	184	182	180	178	176	174
0,2	327	321	315	310	305	300	296	292	288	285	282
0,3	435	427	419	412	405	398	392	386	380	375	370
0,4	531	520	510	501	492	483	475	467	459	452	446
0,5	615	602	590	578	567	557	547	538	529	521	513
0,6	689	674	660	647	635	623	612	601	591	582	572
0,7	755	739	724	709	695	682	669	657	646	635	625
0,8	815	797	781	765	750	735	721	708	695	683	672
0,9	870	850	832	816	800	784	769	755	741	728	716
1,0	922	900	880	862	845	829	813	798	784	770	757
1,5	1122	1093	1067	1044	1023	1003	984	967	951	935	920
2,0	1269	1242	1215	1189	1164	1140	1117	1096	1076	1057	1039
2,5	1381	1354	1326	1299	1272	1246	1221	1196	1173	1152	1132
3,0	1471	1443	1415	1388	1360	1332	1305	1279	1254	1231	1209
3,5	1540	1513	1486	1459	1432	1405	1377	1349	1322	1297	1274
4,0	1596	1569	1543	1517	1490	1462	1434	1407	1380	1354	1330
4,5	1642	1616	1591	1565	1539	1512	1485	1457	1430	1404	1380
5,0	1682	1657	1632	1607	1582	1556	1530	1502	1475	1449	1424
5,5	1717	1693	1668	1644	1619	1594	1568	1542	1515	1489	1464
6,0	1747	1724	1701	1677	1653	1628	1603	1577	1551	1525	1500
6,5	1774	1752	1729	1706	1673	1659	1634	1609	1584	1558	1533
7,0	1799	1777	1755	1732	1709	1686	1663	1638	1613	1587	1562
7,5	1821	1880	1778	1755	1733	1710	1687	1663	1638	1613	1588
8,0	1841	1820	1799	1776	1754	1731	1708	1685	1661	1636	1613
9,0	1877	1857	1837	1815	1793	1771	1749	1727	1704	1681	1658
10	1908	1889	1869	1849	1828	1807	1786	1764	1741	1718	1695
11	1936	1918	1899	1879	1858	1838	1818	1796	1774	1752	1730
12	1961	1943	1924	1905	1885	1865	1846	1826	1804	1783	1761
13	1983	1966	1948	1929	1910	1891	1872	1852	1832	1811	1787
14	2002	1985	1967	1949	1931	1913	1895	1876	1857	1835	1813
15	2019	2002	1985	1968	1951	1933	1915	1897	1878	1857	1835
16	2035	2018	2002	1985	1969	1951	1933	1915	1897	1877	1855
17	2050	2034	2018	2001	1985	1968	1950	1933	1915	1895	1874
18	2064	2048	2032	2016	2000	1983	1966	1949	1931	1912	1892
19	2077	2062	2046	2030	2014	1998	1981	1964	1946	1928	1909
20	2090	2075	2060	2044	2028	2012	1995	1978	1961	1943	1925
$\lambda_к$	2,289	2,599	2,940	3,329	3,791	4,336	4,973	5,705	6,545	7,501	8,593
$v_к$	1340	1373	1405	1437	1468	1498	1528	1557	1586	1614	1641

$\Delta = 0{,}82$

λ	B										
	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2
0,1	192	190	188	186	184	182	180	178	176	175	174
0,2	319	314	309	304	296	292	288	285	285	282	279
0,3	426	414	410	403	396	390	384	379	374	369	364
0,4	517	507	498	489	480	472	465	458	452	446	440
0,5	598	586	575	564	554	545	536	528	520	513	506
0,6	670	656	643	630	619	608	598	589	580	572	564
0,7	734	719	704	690	677	665	654	643	633	624	615
0,8	792	775	759	744	730	717	704	692	681	671	661
0,9	844	826	810	794	779	765	751	737	726	715	704
1,0	892	873	856	840	824	809	794	780	767	755	744
1,5	1081	1056	1034	1014	995	978	961	945	930	916	903
2,0	1231	1204	1178	1153	1129	1107	1086	1067	1049	1032	1017
2,5	1343	1316	1288	1261	1235	1210	1186	1164	1143	1124	1106
3,0	1432	1404	1376	1347	1320	1294	1268	1243	1220	1199	1180
3,5	1503	1476	1448	1419	1391	1363	1336	1310	1286	1264	1243
4,0	1559	1532	1506	1478	1450	1421	1393	1366	1341	1319	1298
4,5	1606	1580	1554	1527	1500	1472	1443	1416	1391	1368	1347
5,0	1664	1621	1596	1570	1543	1515	1488	1461	1435	1412	1390
5,5	1682	1658	1633	1608	1582	1555	1528	1501	1475	1451	1429
6,0	1714	1690	1646	1641	1616	1590	1564	1537	1511	1486	1463
6,5	1742	1718	1695	1671	1647	1622	1596	1570	1544	1519	1496
7,0	1767	1744	1721	1698	1674	1650	1625	1599	1574	1549	1526
7,5	1790	1768	1735	1722	1698	1674	1649	1624	1600	1576	1553
8,0	1811	1789	1766	1743	1719	1695	1671	1647	1623	1600	1578
9,0	1848	1828	1806	1784	1761	1737	1713	1690	1667	1645	1623
10,0	1881	1861	1840	1819	1797	1774	1751	1729	1706	1683	1661
11,0	1910	1890	1869	1849	1828	1807	1785	1763	1740	1717	1694
12,0	1934	1915	1895	1876	1856	1836	1815	1793	1770	1747	1724
13,0	1957	1938	1919	1900	1881	1862	1842	1820	1798	1775	1752
14,0	1977	1959	1941	1922	1904	1885	1866	1845	1823	1800	1778
15,0	1995	1978	1960	1942	1924	1906	1887	1867	1845	1823	1801
16,0	2012	1995	1978	1960	1943	1925	1906	1886	1865	1843	1821
17,0	2028	2011	1994	1977	1960	1942	1924	1904	1883	1862	1840
18,0	2043	2026	2010	1993	1976	1958	1940	1921	1901	1880	1859
19,0	2056	2040	2024	2008	1991	1973	1955	1936	1917	1897	1876
20,0	2069	2053	2037	2021	2004	1987	1969	1951	1933	1914	1894
$\lambda_к$	2,851	3,226	3,670	4,201	4,825	5,544	6,371	7,312	8,387	9,628	11,08
$v_к$	1407	1439	1470	1500	1530	1559	1588	1616	1643	1670	1669

$\Delta = 0{,}84$

λ	B										
	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4
0,1	190	188	186	184	182	180	178	176	175	174	173
0,2	314	309	304	300	296	292	289	286	283	280	277
0,3	416	409	402	396	390	385	380	375	370	366	362
0,4	505	495	486	478	471	465	458	452	446	440	435
0,5	583	572	561	551	542	534	526	519	512	505	499
0,6	653	640	628	616	606	596	587	579	571	564	556
0,7	715	701	688	675	663	652	642	633	624	616	608
0,8	770	755	741	727	714	702	691	681	671	662	654
0,9	820	804	789	775	761	748	736	725	714	705	696
1,0	867	850	834	819	804	790	777	765	754	744	734
1,5	1049	1027	1007	989	972	956	941	926	912	899	887
2,0	1192	1167	1143	1120	1099	1079	1061	1044	1028	1013	999
2,5	1305	1278	1251	1225	1201	1177	1155	1135	1117	1100	1085
3,0	1393	1365	1338	1310	1283	1257	1233	1212	1192	1173	1157
3,5	1464	1436	1408	1379	1351	1324	1299	1276	1255	1236	1219
4,0	1522	1494	1466	1437	1408	1380	1354	1331	1310	1291	1273
4,5	1569	1542	1515	1486	1457	1429	1403	1380	1359	1339	1321
5,0	1610	1584	1558	1530	1501	1473	1447	1423	1402	1382	1363
5,5	1646	1621	1596	1569	1541	1514	1487	1462	1440	1420	1400
6,0	1678	1653	1629	1603	1577	1550	1523	1498	1475	1454	1434
6,5	1707	1683	1659	1635	1609	1582	1556	1531	1508	1487	1466
7,0	1734	1710	1686	1662	1637	1611	1585	1561	1538	1515	1495
7,5	1757	1734	1710	1685	1661	1636	1611	1588	1565	1543	1522
8,0	1788	1755	1731	1706	1682	1658	1635	1612	1590	1568	1547
9,0	1819	1797	1774	1750	1725	1702	1679	1656	1634	1612	1591
10	1852	1831	1809	1787	1764	1741	1718	1694	1671	1650	1621
11	1881	1860	1840	1819	1798	1775	1752	1728	1705	1684	1663
12	1906	1886	1867	1847	1827	1805	1782	1759	1736	1713	1692
13	1930	1911	1892	1872	1852	1831	1810	1787	1764	1741	1719
14	1951	1932	1913	1894	1875	1855	1835	1812	1789	1766	1743
15	1970	1952	1934	1915	1896	1877	1857	1835	1812	1789	1765
16	1988	1970	1952	1934	1916	1897	1877	1856	1833	1809	1785
17	2004	1987	1970	1952	1934	1915	1896	1875	1852	1829	1805
18	2020	2003	1986	1968	1950	1932	1913	1892	1870	1847	1824
19	2034	2018	2001	1983	1965	1947	1928	1908	1887	1865	1842
20	2047	2031	2014	1997	1979	1961	1943	1924	1904	1882	1859
$\lambda_к$	3,547	4,063	4,673	5,380	6,193	7,117	8,172	9,396	10,81	12,47	14,41
$v_к$	1471	1501	1531	1561	1590	1618	1645	1672	1698	1724	1750

$\Delta = 0{,}86$

λ	B										
	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6
0,1	188	186	184	182	180	178	177	175	174	173	172
0,2	309	305	301	297	293	290	287	284	281	278	275
0,3	410	403	397	391	386	381	376	371	367	363	359
0,4	497	488	479	472	465	459	453	447	442	436	431
0,5	572	562	552	543	535	527	520	513	507	501	495
0,6	638	627	616	606	597	588	580	572	565	558	551
0,7	698	685	673	662	652	642	633	624	616	608	600
0,8	752	737	725	713	701	690	680	671	662	653	645
0,9	800	785	772	759	746	734	723	713	703	694	685
1,0	846	830	815	801	788	775	763	752	741	731	722
1,5	1020	1001	984	968	953	938	924	911	898	886	874
2,0	1159	1135	1113	1092	1073	1056	1040	1025	1010	996	983
2,5	1265	1238	1213	1189	1168	1148	1130	1112	1096	1081	1068
3,0	1353	1324	1296	1270	1246	1224	1204	1186	1169	1153	1138
3,5	1424	1394	1365	1338	1313	1290	1269	1249	1231	1214	1198
4,0	1482	1451	1422	1394	1368	1345	1324	1304	1285	1267	1250
4,5	1530	1500	1470	1442	1416	1393	1372	1352	1333	1314	1296
5,0	1574	1544	1515	1486	1460	1436	1415	1395	1375	1356	1337
5,5	1611	1583	1554	1526	1500	1476	1454	1433	1413	1393	1374
6,0	1644	1617	1590	1562	1536	1511	1489	1468	1447	1427	1407
6,5	1672	1647	1621	1595	1569	1544	1521	1500	1478	1457	1437
7,0	1699	1674	1649	1624	1598	1574	1551	1529	1507	1486	1465
7,5	1723	1698	1674	1649	1624	1601	1578	1556	1534	1512	1491
8,0	1744	1720	1696	1672	1648	1625	1603	1581	1559	1537	1516
9,0	1787	1763	1739	1716	1692	1669	1646	1624	1603	1581	1560
10	1822	1800	1777	1754	1731	1707	1683	1661	1640	1619	1598
11	1852	1832	1811	1788	1765	1741	1716	1693	1762	1651	1630
12	1879	1859	1839	1817	1794	1770	1746	1722	1700	1679	1659
13	1903	1883	1863	1842	1821	1798	1774	1750	1727	1705	1684
14	1925	1906	1886	1865	1844	1822	1799	1775	1751	1729	1708
15	1945	1926	1907	1887	1867	1845	1822	1798	1774	1751	1729
16	1964	1945	1926	1907	1887	1866	1843	1819	1795	1772	1749
17	1980	1962	1944	1925	1906	1885	1863	1839	1815	1792	1769
18	1996	1978	1960	1942	1923	1903	1881	1858	1834	1811	1788
19	2011	1993	1975	1957	1938	1919	1898	1875	1852	1828	1805
20	2024	2007	1989	1971	1953	1934	1914	1892	1869	1845	1822
$\lambda_к$	4,522	5,215	6,010	6,917	7,947	9,149	10,52	12,14	14,04	16,25	18,80
$v_к$	1533	1562	1591	1619	1646	1673	1699	1725	1751	1777	1802

$\varkappa = 0{,}88$

λ	B										
	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8
0,1	186	184	182	180	179	177	176	175	174	173	172
0,2	305	301	297	293	290	287	284	281	278	275	272
0,3	404	398	392	387	382	377	373	369	365	361	357
0,4	488	480	473	466	460	454	448	443	438	433	429
0,5	560	551	543	535	528	521	514	508	502	496	491
0,6	625	615	606	597	589	581	573	566	559	552	545
0,7	683	672	662	652	643	634	625	617	609	601	594
0,8	735	723	711	701	692	682	672	663	654	645	638
0,9	783	770	757	746	736	725	715	705	695	686	678
1,0	827	813	800	787	775	764	753	743	733	724	715
1,5	997	981	965	950	935	921	908	896	884	873	862
2,0	1128	1107	1087	1068	1051	1035	1020	1006	993	981	969
2,5	1229	1204	1181	1160	1141	1124	1108	1093	1079	1066	1053
3,0	1310	1284	1260	1238	1217	1198	1181	1165	1150	1136	1122
3,5	1380	1352	1326	1302	1281	1261	1243	1226	1210	1195	1180
4,0	1436	1408	1382	1358	1336	1316	1297	1279	1262	1246	1230
4,5	1485	1456	1430	1407	1385	1364	1345	1326	1308	1290	1274
5,0	1529	1500	1474	1450	1428	1407	1387	1367	1348	1330	1313
5,5	1569	1541	1514	1489	1466	1445	1425	1405	1385	1366	1348
6,0	1604	1576	1550	1526	1503	1481	1459	1438	1418	1399	1381
6,5	1635	1608	1582	1557	1534	1512	1490	1469	1448	1429	1411
7,0	1663	1637	1611	1587	1564	1541	1519	1497	1476	1456	1437
7,5	1688	1663	1638	1614	1591	1568	1546	1524	1502	1482	1463
8,0	1709	1685	1662	1639	1616	1593	1571	1549	1527	1506	1486
9,0	1753	1730	1707	1683	1658	1634	1612	1590	1568	1547	1527
10	1791	1768	1744	1719	1694	1670	1647	1625	1604	1584	1564
11	1823	1801	1777	1752	1727	1702	1679	1658	1637	1616	1596
12	1851	1829	1806	1782	1757	1733	1710	1688	1667	1646	1625
13	1876	1855	1833	1809	1785	1760	1737	1715	1694	1673	1652
14	1898	1878	1857	1834	1811	1786	1762	1740	1718	1697	1677
15	1919	1899	1879	1857	1834	1810	1785	1762	1740	1719	1699
16	1937	1918	1898	1877	1854	1831	1807	1783	1761	1740	1719
17	1955	1936	1916	1895	1873	1850	1827	1803	1780	1759	1738
18	1971	1953	1933	1912	1891	1868	1844	1821	1799	1777	1756
19	1985	1967	1948	1929	1909	1886	1862	1838	1816	1794	1773
20	1999	1981	1963	1944	1924	1902	1889	1855	1832	1810	1789
$\lambda_к$	5,813	6,701	7,710	8,890	10,22	11,80	13,64	15,79	18,28	21,16	24,49
$v_к$	1592	1620	1647	1674	1701	1727	1753	1779	1804	1829	1854

$\Delta = 0{,}90$

λ	B										
	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9
0,1	187	185	183	181	179	178	177	176	175	174	173
0,2	306	302	298	295	292	289	286	283	280	277	274
0,3	405	399	393	388	383	378	374	370	366	362	359
0,4	489	481	474	467	461	455	449	444	439	434	430
0,5	562	553	544	536	529	522	515	509	503	497	492
0,6	626	616	606	597	589	581	573	566	559	553	547
0,7	683	672	662	652	643	634	626	618	610	603	596
0,8	735	723	712	702	692	682	673	665	656	648	640
0,9	781	769	758	747	736	725	715	706	697	688	679
1,0	825	812	799	787	775	764	753	743	733	724	715
1,5	995	979	963	948	934	920	907	895	883	872	862
2,0	1121	1101	1082	1064	1048	1033	1019	1005	992	980	968
2,5	1219	1196	1175	1155	1137	1121	1106	1091	1077	1063	1050
3,0	1300	1274	1251	1230	1211	1194	1178	1162	1147	1133	1119
3,5	1366	1339	1314	1292	1272	1255	1238	1222	1206	1190	1175
4,0	1422	1395	1370	1347	1327	1308	1290	1273	1256	1240	1225
4,5	1471	1444	1419	1396	1375	1355	1336	1318	1301	1284	1268
5,0	1515	1488	1463	1440	1419	1398	3378	1359	1341	1324	1308
5,5	1554	1527	1502	1479	1458	1437	1416	1396	1378	1359	1342
6,0	1589	1563	1539	1516	1493	1471	1450	1430	1411	1392	1374
6,5	1621	1596	1572	1549	1526	1504	1483	1462	1442	1423	1404
7,0	1650	1625	1601	1578	1556	1534	1512	1491	1471	1451	1431
7,5	1676	1651	1627	1604	1582	1561	1539	1517	1496	1476	1456
8,0	1699	1674	1650	1627	1606	1585	1563	1541	1520	1499	1478
9,0	1744	1719	1694	1670	1647	1625	1602	1580	1559	1538	1518
10	1782	1757	1732	1707	1683	1660	1637	1615	1594	1573	1553
11	1814	1790	1765	1740	1716	1692	1669	1647	1626	1605	1585
12	1842	1819	1795	1770	1746	1722	1699	1677	1655	1634	1614
13	1867	1845	1822	1798	1773	1749	1725	1703	1682	1661	1641
14	1890	1869	1847	1824	1800	1775	1751	1728	1707	1686	1666
15	1911	1891	1869	1846	1823	1799	1775	1752	1730	1709	1689
16	1930	1910	1889	1867	1844	1821	1797	1774	1751	1730	1710
17	1947	1928	1907	1886	1864	1841	1817	1794	1771	1749	1729
18	1963	1944	1924	1904	1882	1859	1835	1812	1789	1767	1746
19	1978	1959	1939	1920	1898	1875	1854	1828	1805	1784	1763
20	1992	1973	1953	1934	1912	1889	1866	1843	1821	1800	1779
$\lambda_к$	6,475	7,461	8,617	9,891	11,40	13,18	15,26	17,69	20,51	23,78	27,58
$v_к$	1621	1648	1675	1702	1728	1754	1780	1805	1830	1855	1879

$\chi = 0{,}92$

λ	B										
	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0
0,1	188	186	184	182	181	179	178	177	176	175	174
0,2	307	303	299	296	293	290	287	284	281	278	276
0,3	405	399	394	389	384	379	375	371	367	364	361
0,4	489	482	475	468	462	456	451	446	441	437	433
0,5	563	554	546	538	531	524	517	511	505	500	495
0,6	627	617	608	599	591	583	575	568	561	555	549
0,7	684	673	663	653	644	635	627	619	611	604	597
0,8	736	724	713	702	692	683	674	665	657	649	641
0,9	783	771	759	747	736	726	717	707	698	690	681
1,0	826	823	820	788	776	765	755	745	736	727	718
1,5	983	977	962	947	933	919	906	894	883	872	862
2,0	1116	1096	1077	1060	1044	1029	1015	1002	990	978	967
2,5	1213	1190	1170	1151	1133	1116	1102	1088	1075	1062	1048
3,0	1292	1267	1245	1225	1206	1188	1172	1157	1143	1128	1114
3,5	1357	1331	1308	1287	1268	1249	1232	1216	1200	1185	1171
4,0	1413	1387	1364	1342	1321	1301	1283	1266	1250	1235	1221
4,5	1461	1435	1411	1389	1368	1348	1329	1311	1294	1279	1265
5,0	1504	1478	1455	1432	1410	1390	1371	1352	1334	1318	1304
5,5	1543	1517	1494	1472	1450	1429	1409	1390	1371	1354	1338
6,0	1579	1554	1531	1508	1485	1464	1444	1424	1405	1387	1369
6,5	1611	1587	1564	1541	1518	1496	1475	1455	1436	1416	1397
7,0	1640	1616	1593	1570	1547	1525	1504	1483	1463	1443	1423
7,5	1666	1642	1619	1597	1574	1552	1540	1509	1488	1467	1446
8,0	1689	1664	1640	1617	1596	1575	1554	1532	1510	1489	1468
9,0	1733	1708	1683	1659	1637	1615	1594	1572	1550	1529	1507
10	1771	1746	1721	1696	1673	1651	1629	1607	1585	1564	1542
11	1804	1780	1755	1729	1705	1682	1660	1639	1618	1596	1574
12	1832	1809	1785	1759	1735	1712	1690	1668	1647	1625	1603
13	1857	1835	1811	1787	1763	1739	1716	1694	1673	1651	1630
14	1881	1859	1836	1813	1789	1764	1741	1719	1697	1676	1655
15	1903	1882	1859	1836	1812	1787	1763	1741	1719	1698	1678
16	1922	1901	1878	1856	1832	1808	1784	1762	1740	1719	1699
17	1939	1919	1897	1874	1851	1827	1804	1781	1759	1739	1718
18	1955	1935	1914	1891	1868	1845	1822	1799	1777	1757	1736
19	1969	1949	1928	1906	1883	1860	1838	1816	1795	1774	1753
20	1983	1964	1943	1921	1898	1875	1853	1832	1810	1789	1768
$\lambda_к$	7,200	8,329	9,564	10,99	12,71	14,73	17,10	19,86	23,07	26,81	31,17
$v_к$	1649	1676	1703	1727	1755	1781	1806	1831	1856	1880	1904

$\Delta = 0{,}94$

λ	B										
	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0
0,1	191	189	187	185	184	182	181	179	178	177	176
0,2	313	309	305	301	298	295	292	289	286	283	280
0,3	413	407	401	396	391	386	381	377	373	369	365
0,4	499	492	485	478	471	465	459	453	448	443	438
0,5	574	565	556	548	540	533	526	519	513	507	502
0,6	639	629	619	610	601	593	585	577	570	564	558
0,7	697	686	676	666	656	647	638	630	622	614	607
0,8	750	738	727	716	705	695	686	677	668	659	651
0,9	797	785	773	761	750	739	729	719	709	700	691
1,0	840	827	814	802	790	779	768	757	747	737	728
1,5	1009	992	976	961	946	932	919	907	895	884	874
2,0	1132	1111	1092	1074	1058	1043	1029	1016	1003	991	979
2,5	1231	1206	1183	1163	1145	1129	1114	1099	1085	1072	1059
3,0	1310	1283	1260	1239	1219	1201	1184	1168	1153	1139	1125
3,5	1376	1348	1323	1301	1280	1261	1243	1226	1211	1196	1182
4,0	1431	1403	1378	1355	1333	1313	1294	1277	1261	1246	1232
4,5	1480	1452	1426	1403	1381	1360	1341	1323	1306	1291	1276
5,0	1523	1495	1469	1446	1424	1403	1384	1365	1347	1331	1315
5,5	1561	1535	1509	1485	1463	1442	1423	1404	1385	1367	1350
6,0	1595	1570	1546	1522	1499	1478	1458	1438	1419	1400	1381
6,5	1626	1602	1578	1555	1532	1510	1489	1469	1449	1429	1409
7,0	1655	1631	1607	1584	1562	1540	1518	1497	1476	1455	1434
7,5	1681	1656	1632	1609	1587	1566	1544	1522	1501	1479	1457
8,0	1703	1677	1653	1631	1610	1589	1567	1545	1523	1501	1479
9,0	1748	1723	1697	1673	1650	1628	1607	1585	1563	1540	1517
10,0	1786	1761	1735	1709	1685	1662	1640	1619	1597	1575	1552
11,0	1818	1794	1768	1742	1717	1693	1671	1649	1628	1606	1584
12,0	1846	1823	1798	1772	1747	1722	1699	1677	1656	1634	1613
13,0	1871	1848	1824	1799	1774	1749	1725	1703	1682	1661	1640
14,0	1894	1872	1848	1824	1799	1774	1750	1727	1706	1685	1665
15,0	1915	1894	1871	1847	1822	1797	1773	1750	1729	1708	1688
16,0	1934	1913	1891	1867	1843	1819	1795	1772	1751	1730	1709
17,0	1951	1931	1909	1886	1862	1838	1815	1792	1771	1750	1728
18,0	1967	1947	1926	1903	1880	1856	1833	1811	1789	1768	1746
19,0	1981	1962	1941	1918	1895	1872	1849	1827	1805	1784	1763
20,0	1995	1976	1955	1933	1910	1887	1865	1842	1820	1799	1778
$\lambda_к$	6,927	8,023	9,231	10,66	12,34	14,31	16,62	19,32	22,45	26,08	30,29
$v_к$	1650	1677	1704	1730	1756	1782	1807	1832	1857	1881	1905

Величины поправок к давлению пороховых газов на температуру заряда

p_{max}	Температура, °С									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	7,62-мм пистолетные патроны									
1400	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
1450	5	10	16	21	26	31	37	42	47	52
1500	5	11	16	22	27	32	38	43	49	54
1550	6	11	17	22	28	34	39	45	50	56
1600	6	12	17	23	29	35	40	46	52	58
1650	6	12	18	24	30	36	41	47	53	59
1700	6	12	18	24	31	37	43	49	55	61
1750	6	13	19	25	32	38	44	50	57	63
1800	6	13	20	26	33	39	46	52	59	65
1850	7	13	20	27	34	40	47	53	60	67
1900	7	14	20	27	34	41	48	54	61	68
1950	7	14	21	28	35	42	49	55	63	70
2000	7	14	22	29	36	43	50	58	65	72
2050	7	15	22	30	37	44	52	59	67	74
2100	8	15	23	30	38	45	53	61	68	76
2150	8	15	23	31	39	46	54	62	69	77
2200	8	16	24	32	40	47	55	63	71	79
2250	8	16	24	32	41	49	57	65	73	81
2300	8	17	25	33	42	50	58	66	75	83
2350	8	17	26	34	43	51	59	68	76	85
2400	9	17	26	34	43	52	60	69	77	86
2450	9	18	26	35	44	53	62	70	79	88
2500	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90

p_{max}	Температура, °С									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	9-мм пистолетные патроны									
700	3	5	8	10	13	15	18	20	23	25
750	3	5	8	11	13	16	19	22	24	27
800	3	6	9	12	14	17	20	23	26	28
850	3	6	9	12	15	18	21	24	28	31
900	3	6	10	13	16	19	23	26	29	32
950	3	7	10	14	17	21	24	27	31	34
1000	4	7	11	14	18	22	25	29	32	36
1050	4	8	11	15	19	23	26	30	34	38
1100	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
1150	4	8	12	17	21	25	29	33	37	41
1200	4	9	13	17	22	26	30	35	39	43
1250	4	9	13	18	22	27	32	36	40	45
1300	5	9	14	19	23	28	33	37	42	47
1350	5	10	15	19	24	29	34	39	44	49
1400	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
1450	5	10	16	21	26	31	37	42	47	52
1500	5	11	16	22	27	32	38	43	49	54
1550	6	11	17	22	28	33	39	45	50	56
1600	6	12	17	23	29	35	40	46	52	58
	7,62-мм патроны обр. 1943 г.									
2000	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
2050	6	12	18	25	31	37	43	49	55	62
2100	6	13	19	25	32	38	44	51	57	63
2150	6	13	19	26	32	39	45	52	58	65

p_{max}	Температура, °С									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2200	7	13	20	26	33	40	46	53	59	66
2250	7	14	20	27	34	41	47	54	61	68
2300	7	14	21	28	35	41	48	55	62	69
2350	7	14	21	28	35	42	49	56	63	71
2400	7	14	22	29	36	43	50	58	65	72
2450	7	15	22	29	37	44	51	59	66	74
2500	8	15	23	30	38	45	53	60	68	75
2550	8	15	23	31	38	46	54	61	69	77
2600	8	16	23	31	39	47	55	62	70	78
2650	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80
2700	8	16	24	32	41	49	57	65	73	81
2750	8	17	25	33	41	50	58	66	74	83
2800	8	17	25	34	42	50	59	67	76	84
2850	9	17	26	34	43	51	60	68	77	86
2900	9	17	26	35	44	52	61	70	78	87
2950	9	18	27	35	44	53	62	71	80	89
3000	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90
3050	9	18	27	37	46	55	64	73	83	92
3100	9	19	28	37	47	56	65	74	84	93
3150	9	19	28	38	47	57	66	76	85	95
3200	10	19	29	38	48	58	67	77	86	96
3250	10	20	29	39	49	59	68	78	88	98
3300	10	20	30	40	50	59	69	79	89	99
3350	10	20	30	40	50	60	70	81	91	101
3400	10	20	31	41	51	61	71	82	92	102
3450	10	21	31	41	52	62	72	83	93	104

p_{max}	Температура, °С									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3500	11	21	31	42	53	63	74	**84**	**95**	105
3550	11	21	32	43	53	64	75	85	96	107
3600	11	22	32	43	54	65	76	86	97	108
3650	11	22	33	44	55	66	77	88	99	110
3700	11	22	33	44	55	67	78	89	100	111
3750	11	23	34	45	56	67	79	90	101	113
3800	11	23	34	46	57	68	80	91	103	114
	7,62-мм винтовочные патроны									
2000	7	14	22	29	37	44	52	61	67	74
2050	8	15	22	29	38	46	53	62	68	76
2100	8	15	23	30	39	47	54	64	70	78
2150	8	15	23	31	40	48	56	65	72	80
2200	8	16	24	32	41	49	57	67	73	81
2250	8	16	24	32	42	50	58	68	75	83
2300	8	16	25	33	43	51	60	70	77	85
2350	9	17	25	34	43	52	61	71	78	87
2400	9	17	26	35	44	53	62	72	80	89
2450	9	18	27	36	45	54	63	73	82	91
2500	9	18	28	37	46	55	65	74	84	93
2550	9	19	28	38	47	56	66	75	85	94
2600	10	19	29	38	48	57	67	77	86	96
2650	10	20	29	39	49	58	69	78	88	98
2700	10	20	30	40	50	59	70	80	90	100
2750	10	20	31	41	51	61	71	82	92	102
2800	10	21	31	42	52	62	73	83	94	104
2850	10	21	32	42	53	63	74	84	95	105

p_{max}	Температура, °С									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2900	11	21	32	43	54	64	75	86	96	107
2950	11	22	33	44	55	65	76	87	98	109
3000	11	22	33	44	56	67	78	89	100	111
3050	11	23	34	45	57	68	79	90	102	113
3100	11	23	34	46	58	69	81	92	104	115
3150	12	23	35	46	58	70	82	93	105	116
3200	12	24	35	47	59	71	83	94	106	118
3250	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120
3300	12	24	37	49	61	73	85	98	110	122
3350	12	25	37	50	62	74	87	99	112	124
3400	12	25	38	50	63	76	88	101	113	126
3450	13	26	38	51	64	77	90	102	115	128
3500	13	26	39	52	64	78	91	103	116	129
3550	13	26	39	52	65	79	92	105	118	131
3600	13	27	40	53	66	80	93	106	120	133
3650	13	27	40	54	67	81	94	108	121	135
3700	14	27	41	55	68	82	96	110	123	137
3750	14	28	42	56	69	83	97	111	125	139
3800	14	28	42	56	70	84	99	113	127	141
3850	14	28	43	57	71	85	100	114	128	142
3900	14	29	43	58	72	86	101	115	130	144
3950	15	29	44	58	73	88	102	117	131	146
4000	15	30	44	59	74	89	104	118	133	148
4050	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
4100	15	30	46	61	76	91	106	121	137	152
4150	15	31	46	61	77	92	107	123	138	154
4200	16	31	47	62	78	93	109	124	140	155

p_{max}	Температура, °С									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	12,7-мм патроны									
2700	10	21	31	41	52	62	72	82	93	103
2750	10	21	32	42	53	63	73	84	94	105
2800	11	21	32	42	53	64	74	85	95	106
2850	11	22	32	43	54	65	76	86	97	108
2900	11	22	33	44	55	66	77	88	99	110
2950	11	22	34	45	56	67	78	90	101	112
3000	11	23	34	46	57	68	80	91	103	114
3050	12	23	35	46	58	70	81	93	104	116
3100	12	24	35	47	59	71	83	94	106	118
3150	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120
3200	12	24	37	49	61	73	85	98	110	122
3250	12	25	37	50	62	74	87	99	112	124
3300	12	25	38	50	63	75	88	100	113	125
3350	13	25	38	51	64	76	89	102	114	127
3400	13	26	39	52	65	77	90	103	116	129
3450	13	26	39	52	66	79	92	105	118	131
3500	13	27	40	53	67	80	93	106	120	133
3550	13	27	41	54	68	81	95	108	122	135
3600	14	27	41	55	69	82	96	110	123	137
3650	14	28	42	56	70	83	97	111	125	139
3700	14	28	42	56	71	85	99	113	127	141
3750	14	29	43	57	71	86	114	129	129	143
3800	14	29	43	58	72	87	101	115	130	144
3850	15	29	44	58	73	88	102	117	131	146

p_{max}	Температура, °С									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3900	15	30	44	59	74	89	104	118	133	148
3950	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
4000	15	30	46	61	76	91	106	122	137	152
	14,5-мм патроны									
2800	11	22	33	44	55	65	76	87	98	109
2850	11	22	33	44	55	67	78	89	100	111
2900	11	23	34	45	57	68	79	90	102	113
2950	12	23	35	46	58	69	81	92	104	115
3000	12	23	35	47	59	70	82	94	105	117
3050	12	24	36	48	60	71	83	95	107	119
3100	12	24	36	48	61	73	85	97	109	121
3150	12	25	37	49	62	74	86	98	111	123
3200	13	25	38	50	63	75	88	100	113	125
3250	13	25	38	51	64	76	89	102	114	127
3300	13	26	39	52	65	77	90	103	116	129
3350	13	26	39	52	66	79	92	105	118	131
3400	13	27	40	53	67	80	93	106	120	133
3450	14	27	41	54	68	81	95	108	122	135
3500	14	27	41	55	69	82	96	110	123	137
3550	14	28	41	55	69	83	97	111	124	138
3600	14	28	42	56	70	84	98	112	126	140
3650	14	28	43	57	71	85	99	114	128	142
3700	14	29	43	58	72	86	101	115	130	144

Окончание табл. 7

p_{max}	Температура, °С									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3750	15	29	44	58	73	88	102	117	131	146
3800	15	30	44	59	74	89	104	118	133	148
3850	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
3900	15	30	46	61	76	91	106	122	137	152
3950	15	31	46	62	77	92	108	123	139	154
4000	16	31	47	62	78	94	109	125	140	156
4050	16	32	47	63	79	95	111	126	142	158
4100	16	32	48	64	80	96	112	128	144	160

Таблица 8

Величины поправок к скорости пули на температуру заряда

v_x	Температура, °С									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7,62-мм пистолетные патроны										
400	1	1	2	2	3	3	4	5	5	6
410	1	1	2	2	3	3	4	5	5	6
420	1	1	2	2	3	4	4	5	5	6
430	1	1	2	2	3	4	4	5	5	6
440	1	1	2	3	3	4	4	5	6	6
450	1	1	2	3	3	4	4	5	6	6
460	1	1	2	3	3	4	5	5	6	6
470	1	1	2	3	3	4	5	5	6	7
480	1	1	2	3	3	4	5	5	6	7
490	1	1	2	3	3	4	5	6	6	7
500	1	1	2	3	4	4	5	6	6	7
510	1	1	2	3	4	4	5	6	6	7
520	1	2	2	3	4	4	5	6	7	7
530	1	2	2	3	4	5	5	6	7	7
540	1	2	2	3	4	5	5	6	7	8
550	1	2	2	3	4	5	5	6	7	8
9-мм пистолетные патроны										
280	0	1	1	2	2	2	3	3	3	4
290	0	1	1	2	2	2	3	3	4	4
300	0	1	1	2	2	2	3	3	4	4
310	0	1	1	2	2	3	3	3	4	4
320	0	1	1	2	2	3	3	4	4	4
330	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5
340	1	1	1	2	2	3	3	4	4	5
350	1	1	1	2	2	3	3	4	4	5
360	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
370	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
7,62-мм патроны обр. 1943 г.										
650	1	1	2	2	3	4	4	5	5	6
660	1	1	2	2	3	4	4	5	5	6
670	1	1	2	2	3	4	4	5	5	6

v_x	Температура, °С									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
680	1	1	2	2	3	4	4	5	6	6
690	1	1	2	2	3	4	4	5	6	6
700	1	1	2	3	3	4	4	5	6	6
710	1	1	2	3	3	4	4	5	6	6
720	1	1	2	3	3	4	5	5	6	6
730	1	1	2	3	3	4	5	5	6	7
740	1	1	2	3	3	4	5	5	6	7
750	1	1	2	3	3	4	5	5	6	7
760	1	1	2	3	3	4	5	5	6	7
770	1	1	2	3	3	4	5	6	6	7
780	1	1	2	3	4	4	5	6	6	7
790	1	1	2	3	4	4	5	6	6	7
800	1	1	2	3	4	4	5	6	6	7
7,62-мм винтовочные патроны										
650	1	2	2	3	4	5	6	6	7	8
660	1	2	2	3	4	5	6	6	7	8
670	1	2	2	3	4	5	6	6	7	8
680	1	2	3	3	4	5	6	7	7	8
690	1	2	3	3	4	5	6	7	8	8
700	1	2	3	3	4	5	6	7	8	8
710	1	2	3	3	4	5	6	7	8	9
720	1	2	3	3	4	5	6	7	8	9
730	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9
740	1	2	3	4	5	5	6	7	8	9
750	1	2	3	4	5	5	6	7	8	9
760	1	2	3	4	5	6	6	7	8	9
770	1	2	3	4	5	6	6	7	8	9
780	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9
790	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
800	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
810	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
820	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
830	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
840	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

v_x	Температура, °С									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
850	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
860	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
870	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
880	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11
890	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11
900	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11
12,7-мм патроны										
800	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
810	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
820	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11
830	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11
840	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11
850	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11
860	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11
870	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11
880	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11
890	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11
900	1	2	4	5	6	7	8	9	10	12
910	1	2	4	5	6	7	8	9	11	12
920	1	2	4	5	6	7	8	10	11	12
930	1	2	4	5	6	7	9	10	11	12
940	1	2	4	5	6	7	9	10	11	12
950	1	3	4	5	6	7	9	10	11	12
14,5-мм патроны										
950	1	2	3	3	4	5	6	7	8	9
960	1	2	3	3	4	5	6	7	8	9
970	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9
980	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9
990	1	2	3	4	5	5	6	7	8	9
1000	1	2	3	4	5	5	6	7	8	9
1010	1	2	3	4	5	6	6	7	8	9
1020	1	2	3	4	5	6	6	7	8	9
1030	1	2	3	4	5	6	7	7	8	9

Окончание табл. 8

v_x	Температура, °С									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1040	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9
1050	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1060	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1070	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1080	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1090	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1100	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1110	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1120	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1130	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1140	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1150	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1160	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1170	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11
1180	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11
1190	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11
1200	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11
1210	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11
1220	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11
1230	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11
1240	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11

Таблица 9

Значения коэффициентов α, β, μ, ν

ρ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
					$\alpha(\rho)$					
1,00	3,1416	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.99	1103	3,1134	3,1165	3,1197	3,1228	3,1259	3,1291	3,1322	3,1358	3,1385
0,98	0792	0823	0854	0885	0916	0947	0979	1010	1041	1072
0,97	0483	0514	0545	0576	0607	0638	0668	0699	0730	0761
0,96	0176	0207	0238	0268	0299	0330	0360	0391	0421	0452
0,95	2,987	2,9992	2,9932	2,9963	2,9993	0024	0054	0084	0115	0145
0,94	9568	9598	9629	9659	9689	2,9720	2,9750	9780	2,9811	9841
0,93	9267	9297	9327	9357	9387	9417	9448	9471	9508	9533
0,92	8969	8999	9029	9058	9088	9118	9148	9177	9207	9237
0,91	8673	8703	8732	8762	8791	8821	8850	8880	8909	8939
0,90	8379	8408	8438	8467	8497	8526	8556	8585	8615	8644
0,89	8087	8116	8145	8175	8204	8233	8262	8292	8321	8350
0,88	7797	7826	7855	7884	7913	7242	7971	8000	8029	8058
0,87	7509	7538	7567	7595	7624	7653	7682	7710	7739	7768
0,86	7223	7252	7280	7309	7337	7366	7394	7423	7451	7480
0,85	6939	6967	6996	7024	7053	7081	7110	7138	7167	7195
0,84	6657	6685	6713	6742	6770	6798	6826	6855	6883	6911
0,83	6378	6408	6434	6462	6490	6518	6545	6573	6601	6629
0,82	6101	6129	6156	6184	6212	6239	6267	6295	6322	6350
0,81	5826	5853	5881	5908	5936	5963	5991	6018	6046	6073
0,80	5552	5379	5607	5634	5662	5689	5717	5744	5772	5799
0,79	5281	5308	5335	5362	5389	5416	5444	5471	5498	5525
0,78	5012	5039	5066	5093	5120	5147	5173	5200	5227	5254
0,77	4745	4772	4798	4825	4852	4878	4905	4923	4958	4985
0,76	4480	4506	4533	4559	4586	4612	4639	4665	4692	4718
0,75	4217	4243	4270	4296	4322	4349	4275	4401	4428	4454
0,74	3956	3982	4008	4034	4060	4086	4113	4139	4165	4191
0,73	3697	3723	3749	3775	3827	3827	3852	3878	3904	3930
0,72	3440	3466	3491	3517	3543	3568	3594	3620	3645	3671
0,71	3186	3211	3237	3262	3288	3313	3339	3364	3390	3415
0,70	2934	2959	2984	3010	3035	3060	3085	3111	3136	3161
0,69	2684	2709	2734	2759	2784	2809	2834	2859	2884	2909
0,68	2,2435	2,2460	2,2485	2510	2,2535	2,2560	2,2584	2,2609	2,2634	2,2659

ρ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
					α (ρ)					
0,67	2,2189	2,2214	2,2238	2,2263	2,2287	2,2312	2,2336	2,2361	2,2385	2,2410
0,66	1945	1969	1994	2018	2043	2067	2092	2116	2140	2165
0,65	1703	1724	1751	1776	1800	1824	1848	1873	1897	1921
0,64	1463	1487	1511	1535	1559	1583	1607	1631	1655	1679
0,63	1225	1249	1273	1296	1320	1344	1368	1391	1415	1439
0,62	0990	1013	1037	1060	1084	1107	1131	1154	1178	1201
0,61	0756	0779	0803	0826	0850	0873	0897	0920	0944	0967
0,60	0525	0548	0571	0594	0617	0640	0663	0687	0710	0733
0,59	0296	0319	0342	0365	0388	0411	0433	0456	0479	0502
0,58	0069	0092	0114	0137	0160	0182	0205	0228	0250	0273
0,57	1,9844	1,9866	1,9889	1,9911	1,9934	1,9956	1,9979	0001	0024	0046
0,56	9621	9643	9666	6988	9710	9733	9755	1,9777	1,9800	1,9822
0,55	9400	9422	9444	9466	9488	9510	9533	9555	9577	9599
0,54	9180	9202	9224	9246	9268	9290	9312	9334	9356	9378
0,53	8963	8985	9006	9028	9050	9071	9093	9115	9136	9155
0,52	8749	8770	8792	8813	8835	8856	8878	8899	8921	8942
0,51	8537	8556	8579	8601	8622	8643	8664	8686	8707	8728
0,50	8326	8347	8368	8389	8410	8431	8453	8474	8495	8516
0,49	8118	8139	8160	8180	8201	8222	8242	8263	8284	8305
0,48	9711	7932	7952	7973	7994	8014	8035	8036	8076	8079
0,47	7707	7727	7748	7768	7789	7809	7830	7850	7871	7891
0,46	7505	7525	7546	7566	7586	7606	7626	7647	7667	7687
0,45	7305	7325	7345	7365	7385	7405	7425	7445	7465	7485
0,44	7107	7127	7147	7166	7186	7206	7226	7245	7265	7285
0,43	6911	6931	6950	6970	6989	7009	7028	7048	7067	7087
0,42	6717	6736	6756	6776	6795	6814	6834	6853	6873	6892
0,41	6526	6545	6564	6583	6602	6621	6641	6660	6679	6698
0,40	6336	6355	6374	6393	6412	6431	6450	6469	6488	6507
0,39	6149	6168	6186	6205	6224	6242	6261	6280	6298	6317
0,38	5964	5982	6001	6019	6038	6056	6075	6093	6112	6130
0,37	5780	5798	5817	5835	5854	5372	5891	5909	5928	5946
0,36	5599	5617	5635	5653	5671	5689	5707	5726	5744	5762
0,35	5420	5438	5456	5474	5492	5510	5527	5545	5563	5581
0,34	1,5243	1,5261	1,5278	1,5296	1,5314	1,5331	1,5349	1,5367	1,5384	1,5402

ρ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
					α (ρ)					
0,33	1,5068	1,5085	1,5103	1,5120	1,5138	1,5155	1,5173	1,5190	1,5208	1,5225
0,32	4895	4912	4930	4947	4964	4982	4999	5016	5034	5051
0,31	4725	4742	4759	4776	4793	4810	4827	4844	4861	4878
0,30	4556	4573	4590	4607	4624	4641	4657	4674	4691	4708
0,29	4390	4407	4423	4440	4456	4473	4489	4506	4522	4539
0,28	4225	4242	4258	4274	4291	4307	4323	4340	4356	4373
0,27	4063	4079	4095	4111	4128	4144	4160	4177	4193	4209
0,26	3903	3919	3935	3951	3967	3983	3999	4015	4031	4047
0,25	3745	3761	3777	3792	3808	3824	3840	3855	3871	3887
0,24	3589	3605	3620	3636	3151	3667	3682	3698	3713	3729
0,23	3435	3450	3466	3481	3497	3512	3528	3543	3559	3574
0,22	3283	3298	3313	3329	3344	3359	3374	3390	3405	3420
0,21	3133	3148	3163	3178	3193	3208	3223	3238	3253	3268
0,20	2985	3000	3015	3029	3044	3059	3074	3086	3103	3118
0,19	2840	2854	2869	2883	2898	2912	2927	2941	2956	2970
0,18	2697	2711	2726	2740	2754	2769	2783	2797	2812	2826
0,17	2556	2570	2584	2598	2612	2626	2641	2655	2669	2683
0,16	2417	2431	2445	2459	2473	2487	2500	2514	2528	2542
0,15	2280	2294	2307	2321	2335	2348	2362	2376	2389	2403
0,14	2145	2158	2172	2185	2199	2212	2226	2239	2253	2266
0,13	2012	2025	2039	2052	2065	2079	2092	2105	2119	2132
0,12	1881	1894	1907	1920	1933	1946	1960	1973	1986	1999
0,11	1752	1765	1778	1791	1804	1817	1829	1842	1855	1868
0,10	1625	6338	1650	1663	1676	1688	1701	1714	1736	1736
0,09	1500	1512	1525	1537	1550	1562	1575	1587	1600	1612
0,08	1377	1389	1402	1414	1426	1439	1451	1463	1476	1488
0,07	1256	1268	1280	1292	1303	1316	1329	1341	1353	1365
0,06	1138	1150	1162	1173	1185	1197	1209	1220	1232	1244
0,05	1022	1034	1045	1057	1068	1080	1091	1103	1114	1126
0,04	0908	0919	0931	0942	0954	0956	0977	0988	1000	1011
0,03	0796	0807	0818	0830	0841	0852	0863	0875	0886	0897
0,02	0686	0697	0708	0719	0730	0741	0752	0763	0774	0785
0,01	0578	0589	0600	0610	0621	0632	0643	0653	0664	0675
0,00	1,0472	1,0483	1,0493	1,0504	1,0514	1,0525	0535	1,0546	1,0556	1,0567

ρ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
					β (ρ)					
1,00	0,5000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,99	4983	0,4985	0,4986	0,4988	0,4990	0,4991	0,4993	0,4995	0,4996	0,4998
0,98	4966	4968	4969	4971	4973	4974	4976	4978	4979	4983
0,97	4949	4951	4952	4954	4956	4957	4959	4961	4962	4964
0,96	4932	4934	4935	4937	4939	4940	4942	4944	4945	4947
0,95	4915	4917	4918	4920	4922	4923	4925	4927	4928	4930
0,94	4897	4899	4901	4902	4904	4906	4908	4909	4911	4913
0,93	4879	4881	4883	4884	4886	4888	4890	4891	4893	4895
0,92	4861	4863	4865	4866	4868	4870	4872	4873	4875	4877
0,91	4843	4845	4847	4848	4850	4852	4854	4855	4857	4859
0,90	4825	4827	4829	4830	4832	4834	4836	4837	4839	4841
0,89	4806	4808	4810	4812	4814	4816	4817	4819	4821	4823
0,88	4787	4789	4791	4793	4795	4797	4798	4800	4802	4806
0,87	4768	4770	4772	4774	4776	4778	4779	4781	4783	4785
0,86	4749	4751	4753	4755	4757	4759	4760	4762	4764	4766
0,85	4730	4732	4734	4736	4738	4740	4741	4743	4745	4747
0,84	4711	4713	4715	4717	4719	4721	4722	4724	4726	4728
0,83	4691	4693	4695	4697	4699	4701	4703	4705	4707	4709
0,82	4671	4673	4675	4677	4679	4681	4683	4685	4687	4689
0,81	4651	4653	4655	4657	4659	4661	4663	4665	4667	4669
0,80	4631	4633	4635	4637	4639	4641	4643	4645	4647	4649
0,79	4611	4613	4615	4617	4619	4621	4623	4625	4627	4629
0,78	4590	4592	4594	4596	4598	4600	4603	4605	4607	4609
0,77	4569	4571	4573	4571	4577	4579	4582	4584	4586	4588
0,76	4548	4550	4552	4554	4556	4558	4661	4663	4665	4667
0,75	4527	4529	4531	4533	4535	4537	4540	4542	4544	4546
0,74	4506	4508	4510	4512	4514	4516	4519	4521	4523	4525
0,73	4484	4486	4488	4491	4493	4495	4597	4500	4502	4504
0,72	4462	4464	4466	4469	4471	4473	4475	4478	4480	4482
0,71	4440	4442	4444	4447	4449	4451	4453	4456	4458	4460
0,70	4418	4420	4422	4425	4427	4429	4431	4434	4436	4438
0,69	4396	4398	4400	4403	4405	4407	4409	4412	4414	4416
0,68	4374	4376	4378	4381	4383	4385	4387	4390	4392	4394
0,67	0,4351	0,4353	0,4356	0,4358	0,4360	0,4363	0,4365	0,4367	0,4370	0,4372

ρ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
					β (ρ)					
0,66	0,4328	0,4330	0,4333	0,4335	0,4337	0,4340	0,4342	0,4344	0,4347	0,4349
0,65	4304	4306	4309	4311	4314	4316	4319	4321	4324	4326
0,64	4280	4282	4285	4287	4290	4292	4295	4297	4300	4302
0,63	4256	4258	4261	4263	4266	4268	4271	4273	4276	4278
0,62	4232	4234	4237	4239	4242	4244	4247	4249	4252	4254
0,61	4208	4210	4213	4215	4218	4220	4223	4225	4228	4230
0,60	4184	4186	4189	4191	4194	4196	4199	4201	4204	4206
0,59	4159	4161	4164	4166	4169	4171	4174	4176	4179	4181
0,58	4134	4136	4139	4141	4144	4146	4149	4151	4154	4156
0,57	4109	4111	4114	4116	4119	4121	4124	4126	4129	4131
0,56	4084	4086	4089	1091	4094	4096	4099	4101	4104	4106
0,55	4059	4061	4064	4066	4069	4071	4074	4076	4079	4081
0,54	4033	4036	4038	4041	4043	4046	4048	4051	4053	4605
0,53	4007	4010	4012	4015	4017	4020	4022	4025	4027	4030
0,52	3981	3984	3986	3989	3991	3994	3996	3999	4001	4004
0,51	3955	3958	3960	3963	3965	3968	3970	3973	3975	3978
0,50	3929	3932	3934	3937	3939	3942	3944	3947	3949	3952
0,49	3902	3905	3907	3910	3913	3915	3918	3921	3923	3926
0,48	3875	3878	3880	3883	3886	3888	3891	3894	3896	3899
0,47	3848	3851	3853	3856	3859	3861	3864	3867	3869	3872
0,46	3821	3824	8826	3829	3832	3834	3837	3840	3842	3845
0,45	3794	3797	3799	3802	3805	3807	3810	3813	3815	3818
0,44	3766	3769	3772	3774	3777	3780	3783	3785	3788	3791
0,43	3738	3741	3744	3716	3749	3752	3755	3757	3760	3762
0,42	3710	3713	3716	3718	3721	3724	3727	3729	3732	3735
0,41	3654	3657	3660	3662	3665	3668	3671	3673	3676	3679
0,40	3654	3657	3660	3662	3665	3668	3671	3673	3676	3679
0,39	3626	3657	3660	3662	3665	3668	3671	3673	3676	3679
0,38	3597	3600	3603	3606	3609	3612	3614	3617	3620	3623
0,37	3568	3571	3574	3577	3580	3583	3585	3588	3591	3594
0,36	3539	3542	3545	3548	3551	3554	3556	3559	3562	3565
0,35	3510	3513	3516	3519	3522	3525	3527	3530	3533	3536
0,34	3481	3484	3487	3490	3493	3496	3498	3501	3504	3507
0,33	0,3452	0,3455	0,3458	0,3461	0,3464	0,3467	0,3469	0,3472	0,3475	0,3478

ρ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
					β (ρ)					
0,32	0,3423	0,3426	0,3429	0,3432	0,3435	0,3438	0,3440	0,3443	0,3446	0,3449
0,31	3393	3396	3399	3402	3405	3408	3411	3414	3417	3420
0,30	3363	3366	3369	3372	3375	3378	3381	3384	3387	3390
0,29	3334	3337	3340	3343	3346	3349	3351	3354	3357	3360
0,28	3304	3307	3310	3313	3316	3319	3822	3325	3328	3331
0,27	3274	3277	3280	3283	3286	3289	3292	3295	3298	3301
0,26	3244	3247	3250	3252	3256	3259	3262	3265	3268	3271
0,25	3214	3217	3220	3223	3226	3229	3232	3235	3238	3241
0,24	3184	3187	3190	3193	3196	3199	3202	3205	3208	3211
0,23	3154	3157	3160	3163	3166	3169	3172	3175	3178	3181
0,22	3125	3128	3131	3134	3137	3140	3142	3145	3148	3151
0,21	3095	3098	3101	3104	3107	3110	3113	3116	3119	3122
0,20	3065	3068	3071	3074	3077	3080	3083	3086	3089	3092
0,19	3035	3038	3041	3044	3047	3050	3053	3056	3059	3062
0,18	3005	3008	3011	3014	3017	3020	3023	3026	3029	3032
0,17	2976	2979	2982	2985	2988	2991	2994	2996	2999	3002
0,16	2946	2949	2952	2955	2958	2961	2964	2967	2970	2973
0,15	2916	2919	2922	2925	2926	2931	2934	2937	2940	2943
0,14	2887	2890	2893	2896	2899	2902	2904	2907	2910	2913
0,13	2857	2860	2863	2866	2869	2872	2875	2878	2881	2884
0,12	2828	2831	2834	2837	2840	2843	2845	2848	2851	2854
0,11	2799	2802	2805	2808	2811	2814	2816	2819	2822	2825
0,10	2770	2773	2776	2779	2782	2785	2787	2790	2793	2799
0,09	2742	2745	2748	2750	2753	2756	2759	2761	2764	2767
0,08	2714	2717	2720	2722	2725	2728	2731	2733	2736	2739
0,07	2686	2689	2692	2694	2697	2700	2703	2705	2708	2711
0,06	2659	2662	2664	2667	2670	2673	2675	2678	2680	2683
0,05	2631	2634	2637	2639	2642	2645	2648	2650	2653	2656
0,04	2604	2607	2609	2612	2615	2617	2620	2623	2625	2628
0,03	2578	2581	2583	2586	2588	2591	2593	2596	2598	2601
0,02	2552	2555	2558	2560	2563	2565	2568	2570	2573	2575
0,01	2526	2529	2531	2534	2536	2539	2541	2544	2546	2549
0,00	0,2500	0,2502	0,2505	0,2508	0,2510	0,2513	0,2515	0,2518	0,2520	0,2523

ρ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
					μ (ρ)					
1,00	0,5000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,99	4950	0,4955	0,4960	0,4965	0,4970	0,4975	0,4980	0,4985	0,4990	0,4995
0,98	4901	4906	4911	4916	4921	4926	4930	4935	4940	4946
0,97	4852	4857	4862	4867	4878	4877	4881	4886	4891	4896
0,96	4804	4809	4814	4819	4823	4828	4833	4837	4842	4847
0,95	4757	4762	4767	4771	4776	4781	4785	4790	4794	4799
0,94	4711	4716	4720	4725	4729	4734	4738	4743	4747	4752
0,93	4665	4670	4674	4679	4683	4688	4692	4697	4701	4706
0,92	46.0	4625	4629	1634	4638	4643	4647	4632	4656	4660
0,91	4576	4580	4585	4589	4594	4598	4603	4607	4612	4616
0,90	4538	4539	4542	4546	4550	4555	4559	4563	4568	4572
0,89	4491	4495	4499	1504	4508	4512	4516	4521	4525	4529
0,88	4449	4453	4457	4462	4466	4470	4474	4479	4483	4487
0,87	4407	4411	4415	4420	4424	4428	4432	4437	4441	4445
0,86	4366	4370	4374	4373	4382	4386	4391	4395	4399	4403
0,85	4325	4329	4333	4337	4341	4345	4350	4354	4358	4362
0,84	4285	4289	4293	4297	4301	4305	4309	4313	4317	4321
0,83	4246	4250	4254	4258	4262	4266	4269	4273	4277	4281
0,82	4208	4212	4216	1210	4223	4227	4231	4234	4238	4242
0,81	4170	4174	4178	4181	4185	4189	4192	4196	4200	4204
0,80	4133	4137	4140	4144	4148	4151	4155	4159	4162	4166
0,79	4097	4101	4104	4108	4111	4115	4118	4122	4125	4129
0,78	4061	4065	4068	4072	4075	4079	4082	4086	4089	4093
0,77	4026	4030	4033	4037	4040	4043	4047	4050	4054	4057
0,76	3992	3995	3999	4002	4006	4009	4013	4016	4020	4023
0,75	3958	3961	3965	3968	3972	3975	3979	3982	3986	3989
0,74	3925	3928	3932	3935	3938	3942	3945	3948	3952	3955
0,73	3892	3895	3899	3902	3905	3909	3912	3915	3919	3922
0,72	3860	3863	3866	3870	3873	3876	3879	3883	3886	3889
0,71	3829	3832	3835	3838	3841	3844	3848	3851	3854	3857
0,70	3798	3801	3804	3807	3810	3813	3817	3820	3823	3826
0,69	3768	3771	3774	3777	3780	3783	3786	3789	3792	3795
0,68	3739	3742	3745	3748	3751	3754	3756	3759	3672	3765
0,67	0,3710	0,3713	0,3716	0,3719	0,3722	0,3725	0,3727	0,3730	0,3733	0,3736

ρ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
					μ (ρ)					
0,66	0,3682	0,3685	0,3688	0,3690	0,3693	0,3696	0,3699	0,3701	0,3704	0,3707
0,65	3655	3658	3661	3663	3666	3668	3671	3674	3676	3679
0,64	3629	3632	3634	3670	3639	3642	3644	3647	3649	3652
0,63	3603	3606	3608	3611	3613	3616	3618	3621	3623	3626
0,62	3578	3581	3583	3586	3588	3591	3593	3696	3598	3601
0,61	3553	3556	3558	3561	3563	3566	3568	3571	3573	3576
0,60	3529	3531	3534	3536	3539	3541	3544	3546	3549	3551
0,59	3505	3507	3510	3512	3515	3517	3520	3522	3525	3527
0,58	3482	3484	3487	3489	3491	3494	3496	3498	3501	3503
0,57	3460	3462	3464	3467	3469	3471	3473	3476	3478	3480
0,56	3438	3440	3442	3445	3447	3449	3451	3454	3456	3458
0,55	3417	3419	3421	3423	3425	3427	3430	3432	3434	3436
0,54	3397	3399	3403	3405	3405	3407	3409	3411	3413	3415
0,53	3377	3379	3381	3383	3385	3387	3389	3391	3393	3395
0,52	3358	3360	3362	3364	3366	3368	3369	3371	3373	3375
0,51	3339	3341	3343	3345	3347	3349	3350	3352	3354	3356
0,50	3321	3323	3325	3326	3328	3330	3332	3333	3335	3337
0,49	3304	3306	3307	3309	3311	3312	3314	3316	3317	3319
0,48	3287	3288	3290	3291	3293	8295	3297	3299	3300	3302
0,47	3271	3272	3274	3275	3277	3278	3280	3281	3283	3285
0,46	3255	3256	3258	3259	3261	3262	3264	3265	3267	3269
0,45	3240	3241	3342	3244	3246	3247	3249	3250	3252	3153
0,44	3225	3226	3228	3229	3231	3232	3234	3235	3237	3238
0,43	3211	3212	3214	3215	3217	3218	3220	3221	3223	3224
0,42	3197	3198	3200	3201	3203	3204	3206	3207	3209	3219
0,41	3184	3185	3187	3188	189	3191	3192	3193	3195	3196
0,40	3172	3173	3174	3176	3177	3178	3179	3181	3182	3183
0,39	3161	3162	3163	3164	3165	3166	3168	3169	3170	3171
0,38	3150	3151	3152	3153	3154	3155	3157	3158	3159	3160
0,37	3139	3140	3141	3142	3143	3144	3146	3147	3148	3149
0,36	3128	3129	3130	3131	3132	3133	3135	3136	3137	3138
0,35	3118	3119	3120	3121	3122	3123	3124	3125	3126	3127
0,34	3109	3110	3111	3112	3113	3114	3114	3115	3116	3117
0,33	0,3100	0,3101	0,3102	0,3103	0,3104	0,3105	0,3105	0,3106	0,3107	0,3108

ρ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
					μ (ρ)					
0,32	0,3091	0,3092	0,3093	0,3094	0,3095	0,3096	0,3096	0,3097	0,3098	0,3099
0,31	3083	3084	3085	3085	3086	3087	3088	3088	3089	3090
0,30	3075	3076	3077	3077	3078	3079	3080	3080	3081	3082
0,29	3068	3069	3069	3070	3071	3071	3072	3073	3073	3074
0,28	3062	3063	3063	3064	3064	3065	3065	3066	3066	3067
0,27	3056	3057	3057	3058	3058	3059	3059	3060	3060	3061
0,26	3050	3051	3051	3052	3052	3053	3053	3054	3054	3055
0,25	3045	3045	3046	3046	3047	3047	3048	3048	3049	3049
0,24	3040	3040	3041	3041	3042	3042	3043	3043	3044	3044
0,23	3035	3035	3036	3036	3037	3037	3038	3038	3039	3039
0,22	3031	3031	3032	3032	3033	3033	3034	3034	3035	3035
0,21	3027	3027	3028	3028	3029	3029	3030	3030	3031	3031
0,20	3023	3023	3024	3024	3025	3025	3026	3026	3027	3027
0,19	3020	3020	3021	3021	3021	3022	3022	3022	3023	3023
0,18	3017	3017	3018	3018	3018	3019	3019	3019	3020	3020
0,17	3014	3014	3015	3015	3015	3016	3016	3016	3017	3017
0,16	3012	3012	3012	3013	3013	3013	3013	3014	3014	3014
0,15	3010	3010	3010	3011	3011	3011	3011	3012	3012	3012
0,14	3008	3008	3008	3009	3009	3009	3009	3010	3010	3010
0,13	3006	3006	3006	3007	3007	3007	3007	3008	3008	3008
0,12	3005	3005	3005	3005	3005	3005	3006	3006	3006	3006
0,11	3004	3004	3004	3004	3004	3004	3005	3005	3005	3005
0,10	3003	3003	3003	3003	3003	3003	3004	3004	3004	3004
0,09	3002	3002	3002	3002	3002	3002	3003	3003	3003	3003
0,08	3001	3001	3001	3001	3001	3001	3002	3002	3002	3002
0,07	3001	3001	3001	3001	3001	3001	3001	3001	3001	3001
0,06	3001	3001	3001	3001	3001	3001	3001	3001	3001	3001
0,05	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3001	3001	3001	3001
0,04	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000
					ν (ρ)					
1,0	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833
0,99	833	833	833	833	833	833	833	833	833	833
0,98	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833

ρ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
					ν (ρ)					
0,97	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833
0,96	833	833	833	833	833	833	833	833	833	833
0,95	833	833	833	833	833	833	833	833	833	833
0,94	833	833	833	833	833	833	833	833	833	833
0,93	832	832	832	832	832	832	833	833	833	833
0,92	832	832	832	832	832	832	832	832	832	832
0,91	831	831	831	831	831	831	831	832	832	832
0,90	831	831	831	831	831	831	831	831	831	831
0,89	830	830	830	830	830	830	830	830	830	830
0,88	830	830	830	830	830	830	830	830	830	830
0,87	829	829	829	829	829	829	830	830	830	830
0,86	829	829	829	829	829	829	829	829	829	829
0,85	828	828	828	828	828	828	829	829	829	829
0,84	827	827	827	827	827	827	828	828	828	828
0,83	826	826	826	826	826	826	827	827	827	827
0,82	825	825	825	825	825	825	826	826	826	826
0,81	824	824	824	824	824	824	825	825	825	825
0,80	823	823	823	823	823	823	824	824	824	824
0,79	821	821	821	822	822	822	822	823	823	823
0,78	820	820	820	820	820	820	821	821	821	821
0,77	819	819	819	819	819	819	820	820	820	820
0,76	817	817	817	818	818	818	818	819	819	819
0,75	815	815	815	816	816	816	816	817	817	817
0,74	813	813	813	814	814	814	814	815	815	815
0,73	812	812	812	812	812	812	813	813	813	813
0,72	810	810	810	811	811	811	811	812	812	812
0,71	808	808	808	809	809	809	809	810	810	810
0,70	806	806	806	807	807	807	807	808	808	808
0,69	804	804	804	805	805	805	805	806	806	806
0,68	802	802	802	803	803	803	803	804	804	804
0,67	800	800	800	801	801	801	801	802	802	802
0,66	797	797	798	798	798	799	799	799	800	800
0,65	794	794	795	795	795	796	796	796	797	797
0,64	0,0792	0,0792	0,0792	0,0793	0,0793	0,0793	0,0793	0,0794	0,0794	0,0794

ρ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
					ν (ρ)					
0,63	0,0789	0,0780	0,0780	0,0790	0,0790	0,0791	0,0791	0,0791	0,0792	0,0792
0,62	786	786	787	787	787	788	788	788	789	789
0,61	783	783	784	784	784	785	785	785	786	786
0,60	780	780	781	781	781	782	782	782	783	783
0,59	777	777	778	778	778	779	779	779	780	780
0,58	774	774	775	775	775	776	776	776	777	777
0,57	771	771	772	772	772	773	773	773	774	774
0,56	767	767	768	768	769	769	770	770	771	771
0,55	763	763	764	764	765	765	766	766	767	767
0,54	759	759	760	760	761	761	762	762	763	763
0,53	755	755	756	756	757	757	758	758	759	759
0,52	751	751	752	752	753	753	754	754	755	755
0,51	747	747	748	748	749	749	750	750	751	751
0,50	742	742	743	743	744	744	745	745	746	746
0,49	738	738	739	739	740	740	741	741	742	742
0,48	733	733	734	734	735	735	736	736	737	737
0,47	728	728	729	729	730	730	731	731	732	732
0,46	723	723	724	724	725	725	726	726	727	727
0,45	718	718	719	719	720	720	721	721	722	722
0,44	713	713	714	714	715	715	716	716	717	717
0,43	708	708	709	709	710	710	711	711	712	712
0,42	702	702	703	703	704	705	706	706	707	707
0,41	697	697	698	698	699	699	700	700	701	701
0,40	691	691	692	692	693	694	695	695	696	696
0,39	685	686	686	687	687	688	688	689	689	690
0,38	679	680	680	681	681	682	682	683	683	684
0,37	673	674	674	675	675	676	676	677	677	678
0,36	666	667	667	668	669	669	670	671	671	672
0,35	659	660	660	661	662	662	663	664	664	665
0,34	653	654	654	655	655	656	656	657	657	658
0,33	646	647	647	648	649	649	650	651	651	652
0,32	639	640	640	641	642	642	643	644	644	645
0,31	632	633	633	634	635	635	636	637	637	638
0,30	0,0624	0,0625	0,0625	0,0626	0,0627	0,0628	0,0629	0,0629	0,0630	0,0631

ρ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
					ν (ρ)					
0,29	0,0617	0,0618	0,0618	0,0619	0,0620	0,0620	0,0621	0,0622	0,0622	0,0623
0,28	609	610	610	611	612	613	614	614	615	616
0,27	601	602	602	603	604	605	606	607	607	608
0,26	594	595	595	596	597	597	598	599	599	600
0,25	586	587	587	588	589	590	591	591	592	593
0,24	578	579	579	580	581	582	582	583	584	585
0,23	570	571	571	572	573	574	575	575	576	577
0,22	562	563	563	564	565	566	567	567	568	569
0,21	554	555	555	556	557	558	559	559	560	561
0,20	545	546	547	548	549	550	550	551	552	553
0,19	537	538	539	539	540	541	542	542	543	544
0,18	528	529	530	531	532	533	533	534	535	536
0,17	520	521	521	522	523	524	525	525	526	527
0,16	511	512	513	514	515	516	516	517	518	519
0,15	502	503	504	505	506	507	507	508	509	510
0,14	492	494	495	496	497	498	498	499	500	501
0,13	484	485	486	487	488	489	489	490	491	492
0,12	476	477	477	478	479	480	481	481	482	483
0,11	467	468	469	470	471	472	472	473	474	475
0,10	458	459	460	461	462	463	463	464	465	466
0,09	450	451	452	453	453	454	455	455	456	457
0,08	441	442	442	444	445	446	446	447	448	449
0,07	433	434	435	436	436	437	438	438	439	440
0,06	424	425	426	427	428	429	429	430	431	432
0,05	416	417	418	419	419	420	421	421	422	423
0,04	408	409	410	411	411	412	413	413	414	415
0,03	400	401	402	403	403	404	405	406	406	407
0,02	392	393	394	394	395	396	397	397	398	399
0,01	384	385	386	387	387	388	389	389	390	391
0,00	0,0375	0,0376	0,0377	0,0378	0,0379	0,0380	0,0380	0,0381	0,0382	0,0383

Значения коэффициентов α', β', μ' ν'

$\rho'=2\frac{h}{d}$	$\frac{1}{2}\rho'=\frac{h}{d}$	$\frac{R}{d}$	α'	β'	μ'	ν'
1,0	0,50	0,50	2,0945	0,3750	0,4000	0,0613
1,73	0,87	1,00	1,8322	3330	3993	0510
2,00	1,00	25	7935	3284	3982	0492
2,50	25	82	7486	3234	3967	0474
2,65	33	2,00	7433	3218	3957	0465
3,00	50	50	7276	3205	3955	0464
3,32	66	3,00	7184	3185	3953	0463
3,50	75	32	7144	3179	3946	0463
3,60	80	99	7097	3173	3942	0462
3,88	94	4,02	7071	3169	3935	0461
4,00	2,00	25	7053	3164	3930	0461
4,20	10	66	7024	3163	3923	0460
4,40	20	5,09	7002	3159	3916	0459
4,60	30	50	6980	3156	3906	0459
4,80	40	6,01	6961	3154	3902	0458
5,00	50	50	6946	3151	3894	0458
5,20	60	7,01	6930	3149	3889	0457
5,40	70	54	6924	3147	3881	0457
5,60	80	8,09	6908	3146	3875	0456
5,80	90	66	6899	3145	3865	0456
5,92	2,96	9,01	6892	3144	3860	0456
6,00	3,00	9,25	6889	3143	3852	0456
6,20	10	86	6880	3142	3836	0455
6,24	12	98	6877	3142	3831	0455
6,40	20	10,19	6870	3141	3823	0455
6,60	30	11,14	6864	3141	3813	0455
6,70	35	48	6861	3140	3810	0455
6,80	40	81	6858	3139	3804	0455
6,86	43	12,02	6855	3139	3799	0455
7,00	3,50	12,50	1,6852	0,3139	0,3790	0,0455

Таблица 11

Значения коэффициентов K_1, K_2, K_3, K_4

h/d	ξ/d									
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
					K_1					
2,0	0,91	0,88	0,85	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,73	0,72
2,5	92	89	86	83	81	79	77	76	75	74
3,0	93	90	87	84	82	81	79	78	77	76
3,5	94	91	88	86	84	82	81	79	78	77
4,0	0,95	0,92	0,89	0,87	0,85	0,83	0,82	0,80	0,79	0,78
					K_2					
2,0	0,97	0,95	0,94	0,92	0,91	0,90	0,89	0,89	0,88	0,88
2,5	98	96	94	92	91	90	90	90	89	89
3,0	98	96	95	93	92	91	91	90	90	90
3,5	98	96	96	94	93	92	92	91	90	90
4,0	0,99	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91	0,91
					K_3					
2,0	0,90	0,83	0,78	0,74	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60
2,5	91	84	79	76	72	70	68	66	65	63
3,0	92	85	81	78	74	72	70	69	67	66
3,5	93	87	83	80	76	74	72	71	70	69
4,0	0,94	0,88	0,81	0,82	0,78	0,76	0,74	0,74	0,72	0,72
					K_4					
2,0	0,92	0,86	0,80	0,76	0,74	0,70	0,68	0,66	0,65	0,64
2,5	92	87	81	78	76	72	70	68	67	66
3,0	93	88	83	80	78	74	73	71	70	68
3,5	94	89	85	82	80	77	75	73	72	70
4,0	0,94	0,90	0,86	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75	0,74	0,72

Значения ρ для хвостовой части пули в зависимости от ее длины и угла наклона образующей

α_x	h_x/d										
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
1°00′	0,984	0,979	0,976	0,972	0,969	0,966	0,962	0,959	0,955	0,952	0,948
5°00′	914	897	879	862	845	828	811	793	775	758	742
5°10′	911	893	875	858	840	822	804	786	769	751	733
5°20′	908	890	871	853	835	816	798	779	761	743	724
5°30′	905	886	867	848	829	810	791	772	754	735	716
5°40′	902	883	863	843	824	805	785	766	746	726	707
5°50′	899	879	859	839	819	799	779	759	738	718	698
6°00′	897	876	855	834	814	793	772	752	731	710	690
6°10′	894	873	851	830	809	788	767	745	724	703	682
6°20′	891	869	847	825	803	782	760	738	716	694	672
6°30′	888	865	843	821	798	776	753	731	708	685	663
6°40′	885	862	839	816	793	770	747	724	700	678	655
6°50′	882	858	835	811	788	764	740	717	693	700	646
7°00′	879	855	831	807	782	758	734	710	686	661	637
7°10′	876	851	827	802	777	752	728	703	678	653	629
7°20′	873	848	823	797	772	747	721	696	671	645	620
7°30′	870	844	819	793	767	741	715	689	663	637	611
7°40′	868	841	814	788	761	735	708	682	655	628	602
7°50′	865	837	810	783	756	729	702	675	648	621	594
8°00′	862	834	806	779	751	723	696	668	640	612	585
8°10′	859	830	802	774	746	717	689	661	633	604	576
8°20′	856	827	798	769	740	712	683	654	625	596	567
8°30′	853	823	794	765	735	706	676	647	625	588	558
8°40′	850	820	790	760	730	700	670	640	617	580	550
8°50′	847	816	786	755	725	694	663	633	610	572	541
9°00′	844	813	782	750	719	688	657	626	603	563	532
9°10′	841	810	778	745	714	682	651	619	595	556	524
9°20′	838	806	773	741	709	676	644	612	587	547	514
9°30′	835	802	769	736	703	670	637	605	579	539	506
9°40′	832	799	765	732	698	664	631	597	572	530	497
9°50′	829	795	761	727	693	659	624	590	556	522	488
10°	0,826	0,792	0,757	0,722	0,687	0,653	0,618	0,583	0,549	0,514	0,479

ГРАФИКИ ВНЕШНЕБАЛЛИСТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

Графики могут быть применены для решения ряда задач по выбору и исследованию вариантов внешнебаллистического решения.

Задача № 1. Требуется наметить вариант баллистического решения, удовлетворяющий заданным величинам дальности прямого выстрела $Д$ и импульса отдачи I_0. Эта задача может быть решена следующим образом:

задавшись поперечной нагрузкой A и коэффициентом формы i, по рис. 1 определить баллистический коэффициент c;

по полученному значению баллистического коэффициента и заданной дальности прямого выстрела $Д$ с помощью рис. 2 определить начальную скорость пули v_0;

по полученному значению начальной скорости пули и заданному импульсу отдачи I_0 по рис. 3 определить вес пули q;

по полученному значению веса пули и принятой ранее поперечной нагрузке по рис. 4 определить калибр d.

Таким образом можно сравнительно быстро набрать несколько вариантов баллистического решения и выбрать из них наиболее подходящий, удовлетворяющий другим требованиям.

Задача № 2. Требуется наметить вариант баллистического решения, удовлетворяющий заданному действию пули по цели на заданной дальности. Такая задача может быть решена различным образом в зависимости от заданного вида действия пули.

Если задано *убойное* (останавливающее) *действие* пули в виде потери кинетической энергии в мышечных тканях, то задача может быть решена следующим образом:

задавшись калибром d, по данной величине потерь энергии ΔE определить необходимую скорость встречи v_c по рис. 5;

задавшись коэффициентом формы i и поперечной нагрузкой пули A, по рис. 1 определить баллистический коэффициент c;

по значениям скорости v_c, заданной дальности X и баллистического коэффициента, пользуясь рис. 6, определить начальную скорость пули v_0;

по заданным значениям поперечной нагрузки A и калибра d определить вес пули q (см. рис. 4).

Таким образом можно наметить несколько вариантов решения и отобрать те из них, с которыми следует работать дальше.

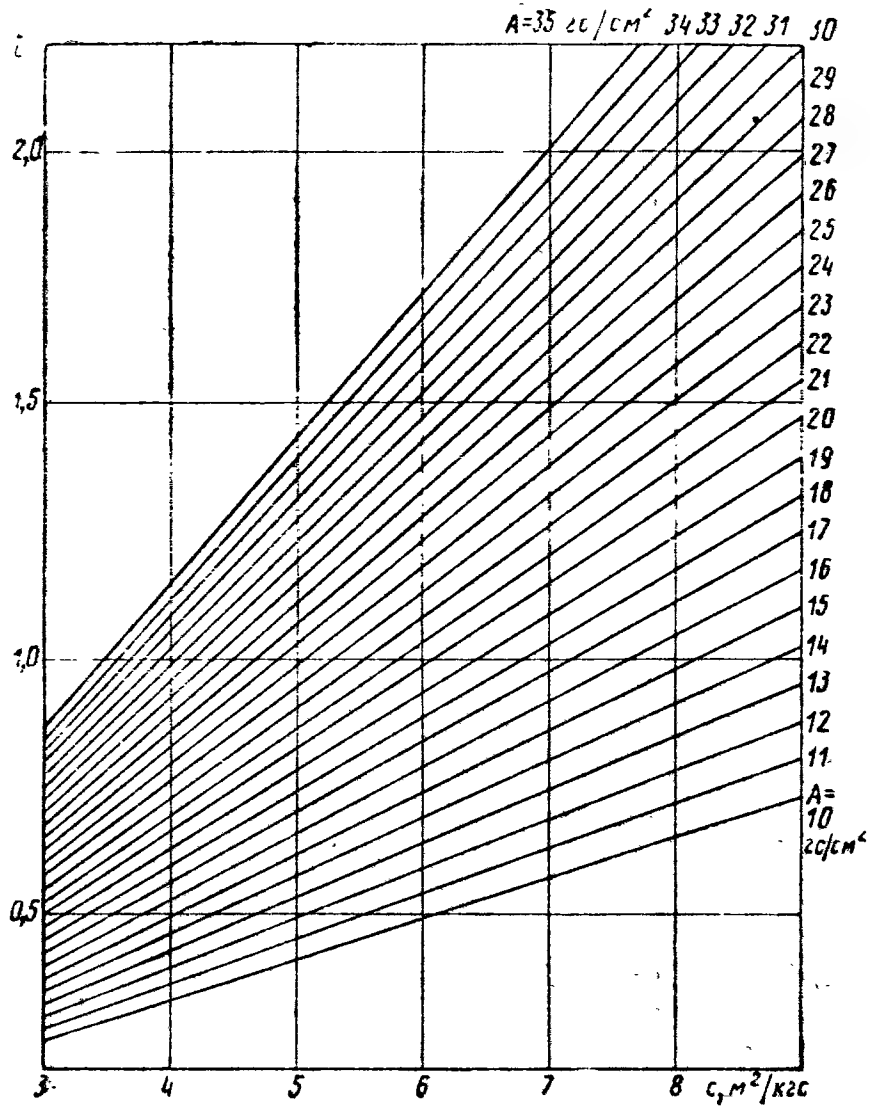


Рис. 1. Графики $i(c, A)$

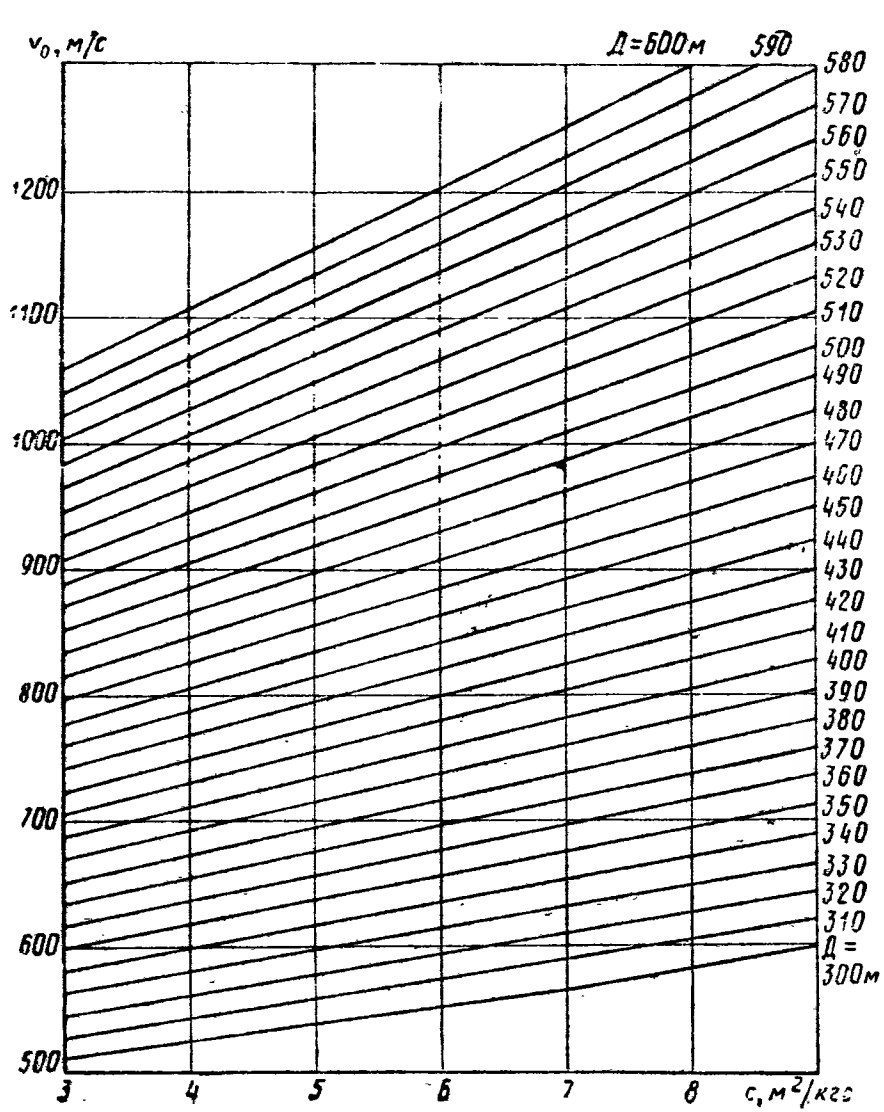


Рис. 2. Графики $v_0(c, Д)$

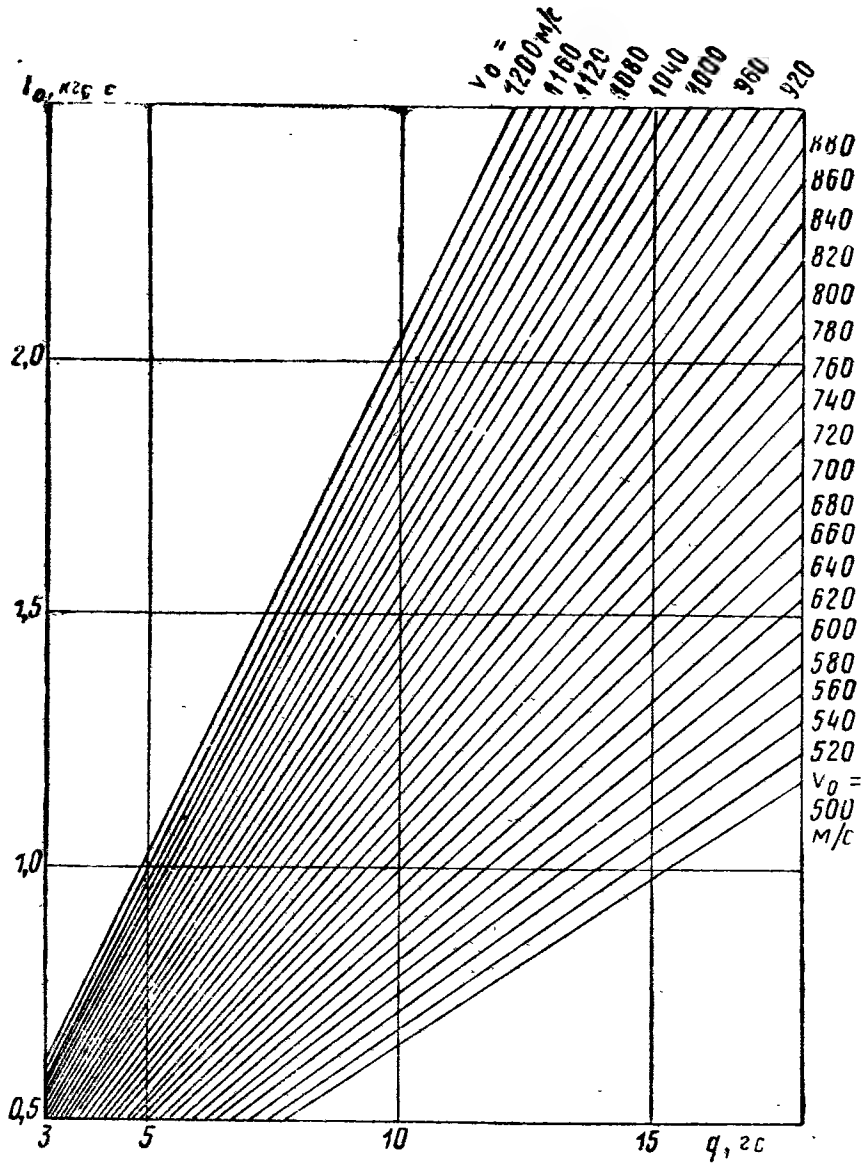


Рис. 3. Графики $I_0(q, v_0)$

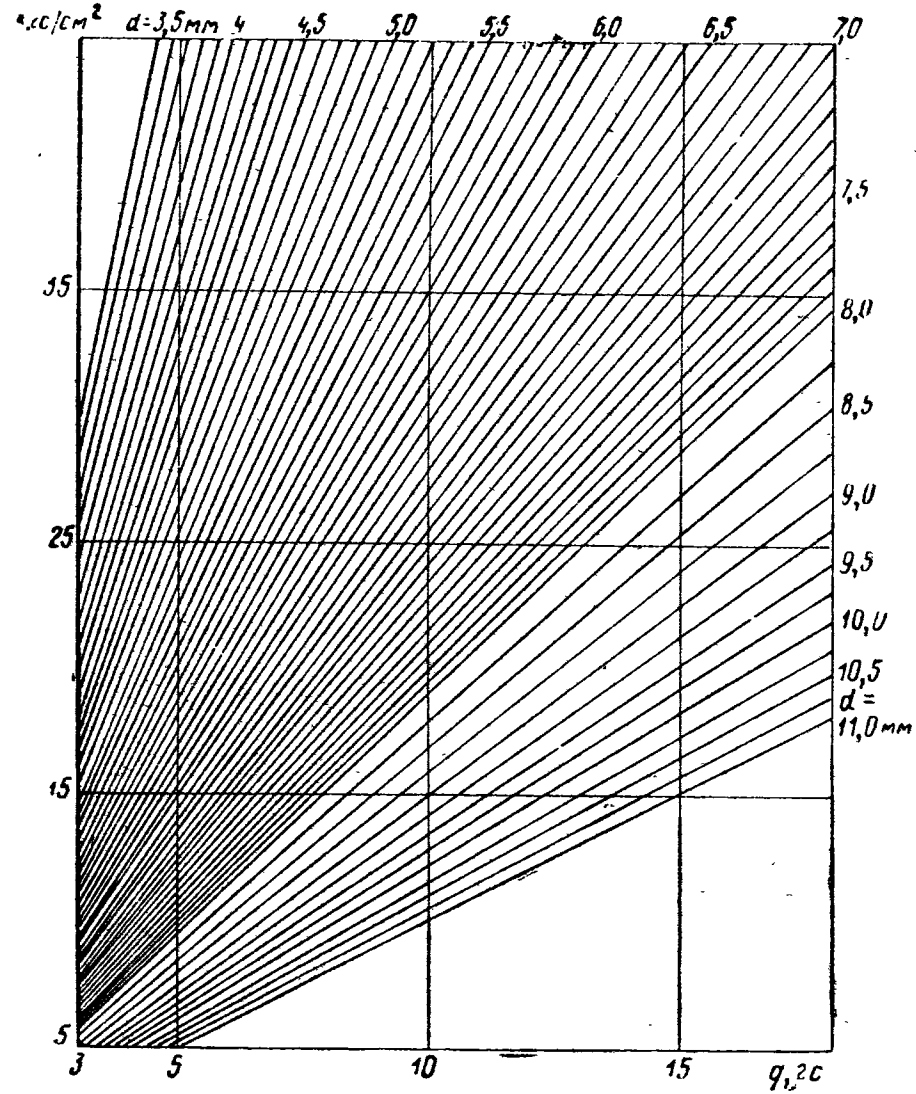


Рис. 4. Графики $A(q, d)$

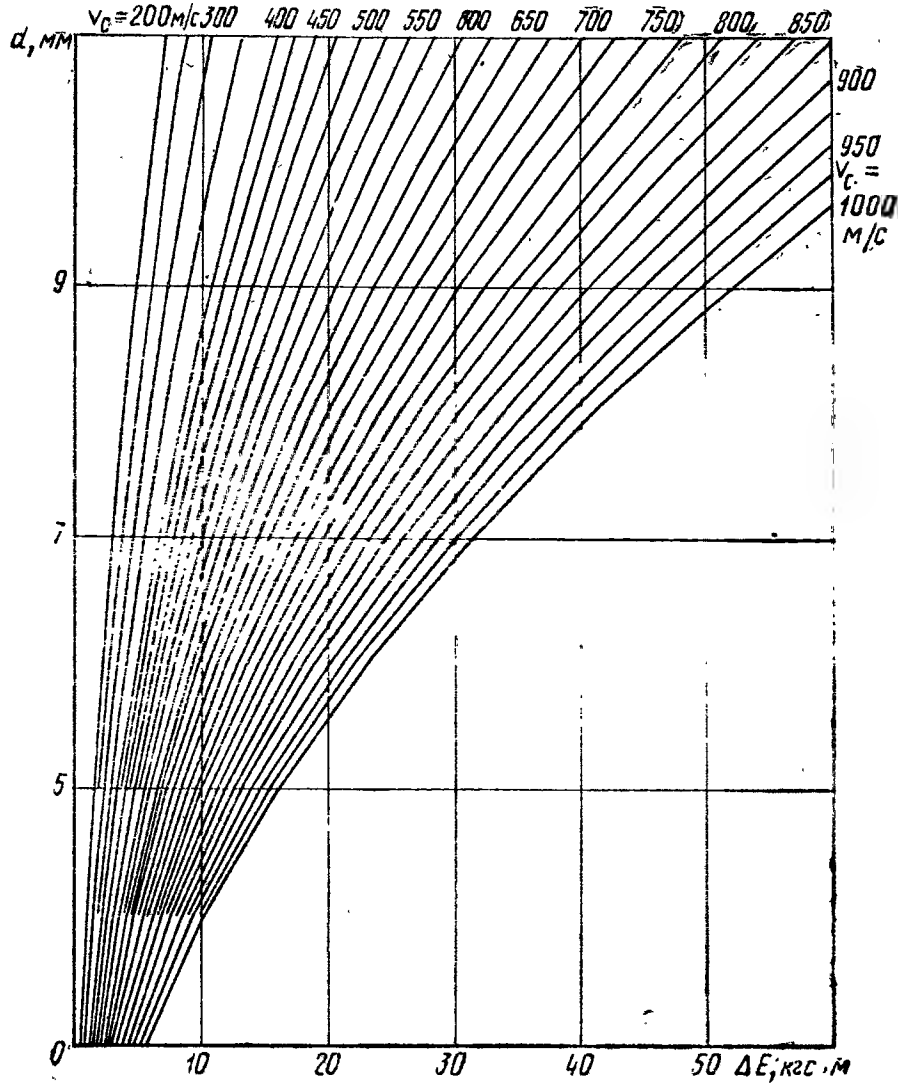


Рис. 5. Графики $d(\Delta E, v_c)$

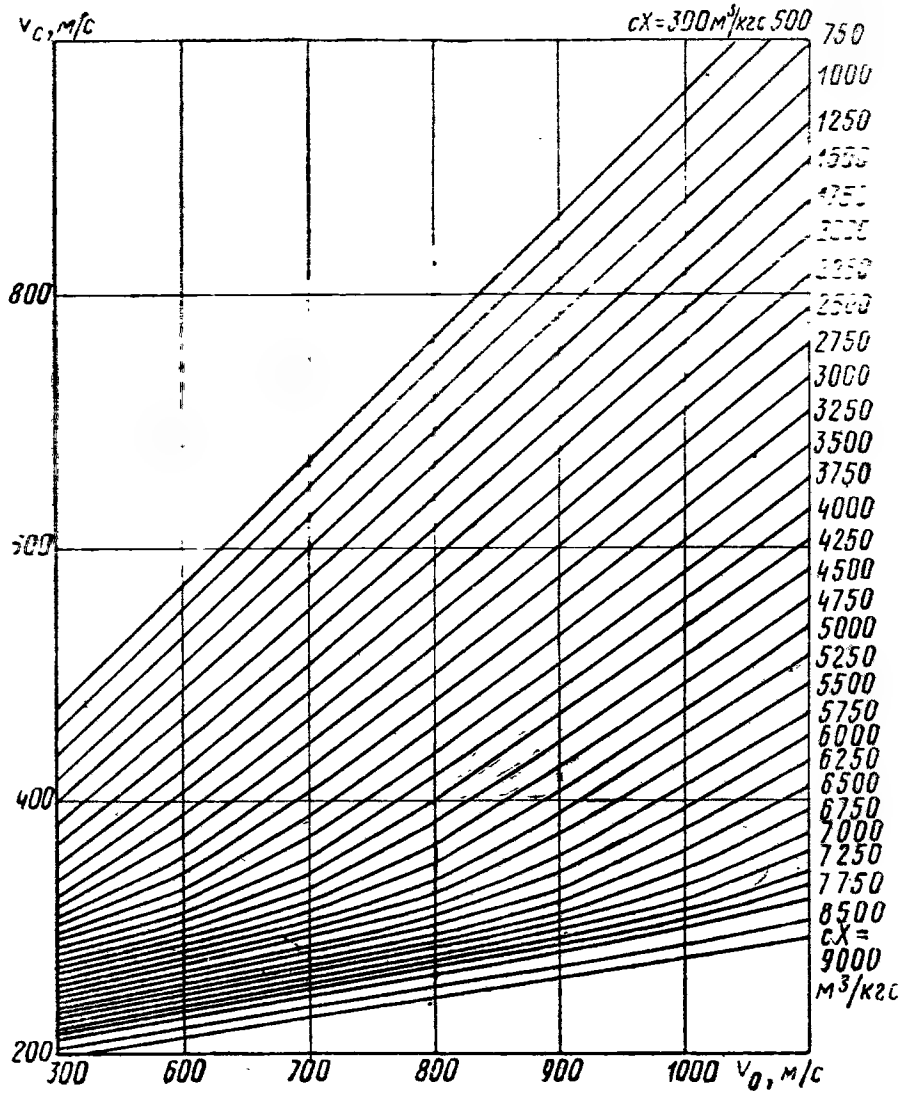


Рис. 6. Графики $v_c(v_0, cX)$

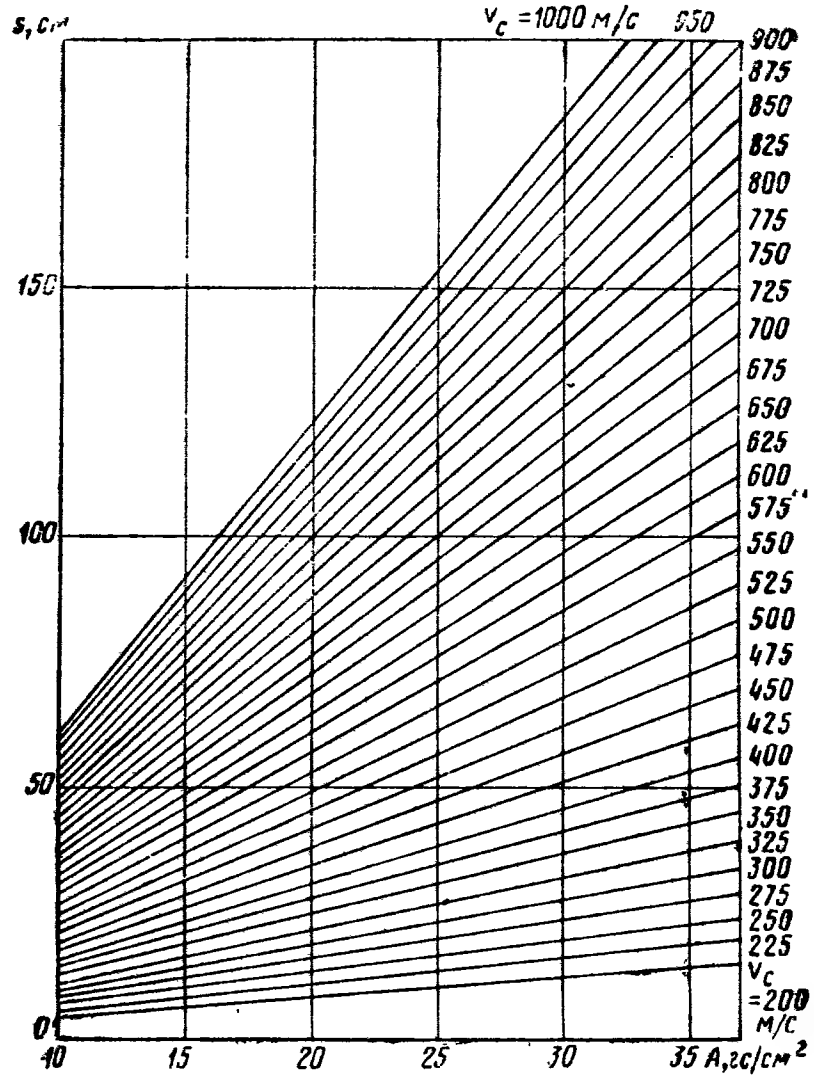


Рис. 7. Графики $s(A, v_c)$

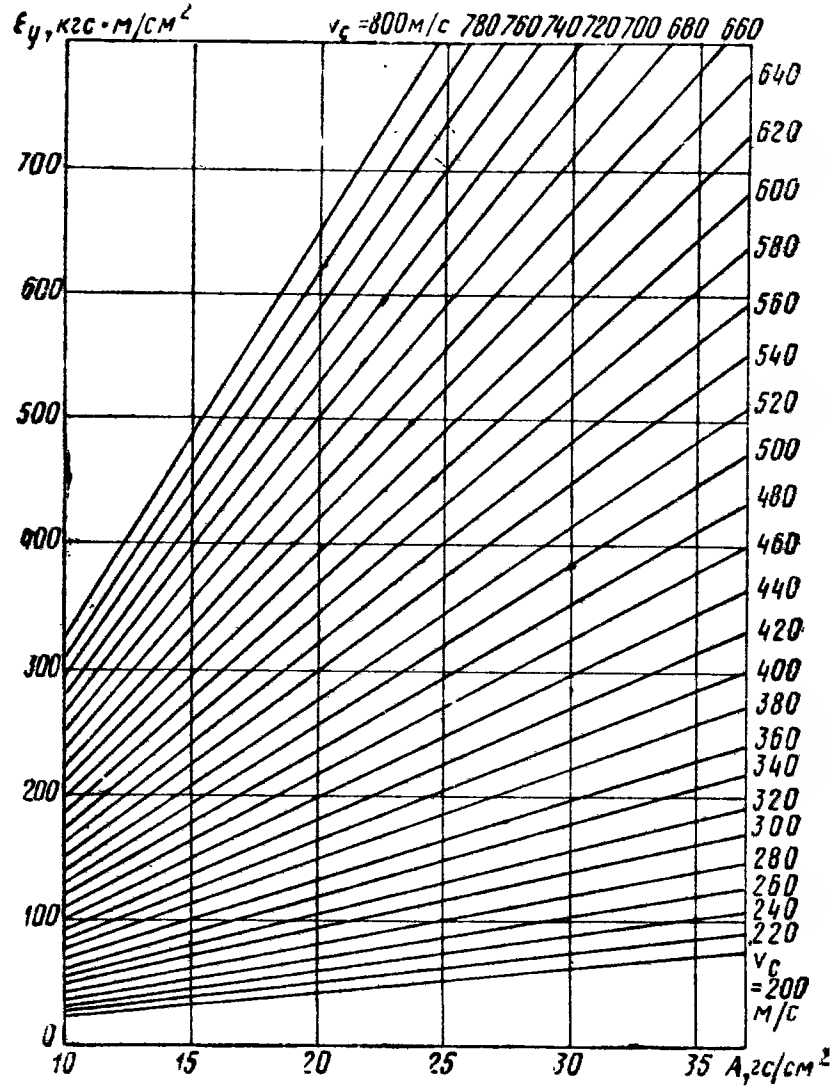


Рис. 8. Графики $E_y(A, v_c)$

Если задано *пробивное действие* пули в виде глубины проникания s или удельной кинетической энергии пули $E_у$, то задача решается следующим образом:

задавшись величиной поперечной нагрузки A, воспользоваться данной величиной s или $E_у$ и по рис. 7 или рис. 8 определить необходимую скорость удара $v_с$;

задаться коэффициентом формы пули i и, пользуясь заданным значением поперечной нагрузки A, по рис. 1 определить баллистический коэффициент c;

по значениям скорости $v_с$, заданной дальности X и баллистического коэффициента c, пользуясь рис. 6, определить начальную скорость пули v_0;

пользуясь поперечной нагрузкой A и рис. 4, определить подходящие значения калибра d и веса пули q.

Пользуясь графиками, можно решать и другие задачи определения вариантов или их исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимов П. И. и др. Руководство к лабораторным работам по аэродинамике и внешней баллистике. Пенза, Пензенское ВАИУ, 1968.

2. Благонравов А. А. Основания проектирования автоматического оружия. М., Оборонгиз, 1940.

3. Бубнов П. Ф., Сухов И. П. Средства инициирования. М., Оборонгиз, 1945.

4. Будников М. А., Левкович Н. А. и др. Взрывчатые вещества и пороха. М., Оборонгиз, 1955.

5. Булыгин В. И., Гнатовский Н. И., Есаян И. Г. и др. Руководство к лабораторным работам по стрелковому оружию. М., ВАИА им. Ф. Э. Дзержинского, 1956.

6. Вентцель Д. А. Внутренняя баллистика. М., ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1948.

7. Гуревич М. В. Боеприпасы стрелкового оружия и малокалиберных автоматических пушек. М., Артиллерийская ордена Ленина академия Красной армии им. Ф. Э. Дзержинского, 1941.

8. Дорофеев А. Н., Кузнецов В. А., Саркисян Р. С. Авиационные боеприпасы. Под ред. В. А. Кузнецова. М., ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1968.

9. Карпов П. П. Средства инициирования. М., Оборонгиз, 1945.

10. Кириллов В. М. Основания устройства и проектирования стрелкового оружия (свойства, баллистическое решение, патроны, стволы). Пенза, Пензенское ВАИУ, 1963.

12. Кундель А. К., Рыжков К. В. Руководство к лабораторным работам по внутренней баллистике. Пенза. Пензенское ВАИУ, 1969.

13. Меньшиков Н. Г., Кириллов В. М. Основания устройства и проектирования пуль патронов стрелкового оружия. М., ВАИА им. Ф. Э. Дзержинского, 1955.

14. Протопопов В. А. Теория работы орудийных гильз. М., ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1946.

15. Семиколенов Н. П. и др. Основы стрельбы из оружия стрелковых подразделений. М., Воениздат, 1958.

16. Серебряков М. Е. Внутренняя баллистика. М., Оборонгиз, 1962.

17. Слухоцкий В. Е. Поправочные формулы внутренней баллистики. М., Воениздат, 1941.

18. Таблицы внешней баллистики. Ч. П. Основные и вспомогательные функции и поправочные коэффициенты. М., Оборонгиз, 1950.

19. Таблицы внутренней баллистики. Ч. I, II, III, IV. М., Воениздат, 1942.

20. Шапиро Я. М. Внешняя баллистика. М., Оборонгиз, 1946.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3

Глава 1. *Действие пуль по целям*

1.1. Общие понятия о действии пуль по целям 7
1.2. Факторы, влияющие на убойное действие пуль 8
1.3. Характеристики убойного действия пуль 9
1.4. Расчет потерь кинетической энергии пули 10
1.5. Порядок оценки убойного действия пуль 13
1.6. Факторы, влияющие на пробивное и проникающее действие пуль 15
1.7. Расчет глубины проникания пуль в преграды 16
1.8. Порядок оценки пробивного действия пуль 18

Примеры 20

Глава 2. *Баллистические характеристики пуль*

2.1. Основные баллистические характеристики пуль 24
2.2. Наружное очертание пуль 26
2.3. Коэффициент формы пули 29
2.4. Определение аэродинамического коэффициента силы лобового сопротивления пули 32
2.5. Баллистический коэффициент 33
2.6. Определение дальности прямого выстрела 36
2.7. Опытное определение дальности прямого выстрела 37
2.8. Сопряжение траекторий пуль 39

Примеры 40

Глава 3. *Выбор внешнебаллистических параметров оружия*

3.1. Общие понятия о внешнебаллистических параметрах 45
3.2. Выбор калибра, веса и скорости пули исходя из действия ее по целям 45
3.3. Выбор калибра, веса и скорости пули исходя из настильности траектории 47
3.4. Выбор калибра, веса и скорости пули исходя из силового действия выстрела на оружие 47
3.5. Сравнительный анализ вариантов баллистического решения . . 49
3.6. Определение начальной скорости пули 51
3.7. Характеристики рассеивания пуль 54

Примеры 59

Глава 4. *Выбор условий заряжания*

4.1. Общие понятия о выборе условий заряжания 64
4.2. Выводы рабочих зависимостей 65
4.3. Выбор исходных данных 66
4.4. Порядок решения задачи выбора условий заряжания 68
4.5. Поправочные формулы проф. В. Е. Слухоцкого 71
4.6. Подбор зарядов 72
4.7. Давление пороховых газов 73
4.8. Опытное определение максимального давления пороховых газов 75

Примеры 79

Глава 5. *Конструкции патронов*

5.1. Разновидности патронов 86
5.2. Пистолетные патроны 88
5.3. Автоматные патроны 90
5.4. Винтовочные патроны 92
5.5. Крупнокалиберные патроны 93
5.6. Двухпульные патроны 94
5.7. Патроны со стреловидными пулями 95
5.8. Патроны с реактивными пулями 96
5.9. Безгильзовые патроны 97
5.10. Патроны с подвижным капсюлем 99
5.11. Патроны для оружия с открытым патронником 100
5.12. Образцовые патроны 101
5.13. Патроны с усиленным зарядом и патроны высокого давления 102
5.14. Холостые и учебные патроны 104
5.15. Маркировка патронов 106

Глава 6. *Конструкции пуль*

6.1. Общие сведения о пулях 109
6.2. Обыкновенные пули 110
6.3. Материалы обыкновенных пуль 112
6.4. Бронебойные пули 114
6.5. Материалы бронебойных сердечников 116
6.6. Трассирующие пули 117
6.7. Трассирующие составы 118
6.8. Элементы расчета трассеров 121
6.9. Опытная проверка дальности и безотказности трассирования 122
6.10. Зажигательные пули 123
6.11. Разрывные (пристрелочные) пули 124
6.12. Пули комбинированного действия 126

Глава 7. *Обеспечение устойчивости пуль при полете в воздухе*

7.1. Силы, действующие на пулю при полете в воздухе 128
7.2. Способы обеспечения устойчивости пуль (снарядов) 129
7.3. Определение длины хода нарезов 130
7.4. Особые случаи обеспечения устойчивости пуль 131
7.5. Крутизна нарезов 133
7.6. Выражения для динамических характеристик пуль 134
7.7. Способ В. М. Трофимова для усеченного конуса 136
7.8. Способ В. М. Трофимова для головной части 139
7.9. Порядок вычисления динамических характеристик 140
7.10. Численные способы расчета динамических характеристик пуль (снарядов) 141
7.11. Опытное определение положения центра тяжести пуль 146
7.12. Определение моментов инерции на трехниточном подвесе . . 147
7.13. Определение моментов инерции на пружинном приборе . . . 149
7.14. Определение моментов инерции на приборе с падающим грузом 151

7.15. Эмпирические формулы для расчета динамических характеристик пуль 152
7.16. Обеспечение устойчивости оперенных пуль 153
7.17. Опытное определение устойчивости пуль 155
Примеры 156
Глава 8. *Элементы расчета пуль на прочность*
8.1. Общие понятия о прочности пульных оболочек 162
8.2. Давление оболочки на боевую грань нареза 163
8.3. Напряжения, возникающие в оболочке под действием центробежных сил 166
8.4. Поперечная прочность оболочки 169
8.5 Напряжения, возникающие в стенках корпуса снаряда под действием продольных сил инерции 171
8.6. Напряжение в заряде (снаряжении) 172
8.7 Учет влияния снаряжения на прочность корпуса снаряда . . . 173
8.8. Напряжения, возникающие в стенках корпуса снаряда при ударе его в броню 174
8.9. Обеспечение безопасности и взводимости взрывателей с инерционными предохранителями 175
8 10. Обеспечение безопасности и взводимости взрывателей с центробежными предохранителями 177
Примеры 179
Глава 9. *Конструкции гильз*
9.1. Общие сведения о гильзах 189
9.2. Бутылочность гильз 194
9.3. Способы фиксации патрона в патроннике 180
9.4. Размеры элементов гильз 180
9.5. Очертание стенок корпуса гильз 195
9.6. Крепление капсюля в капсюльном гнезде и пули в дульце гильзы 199
9.7. Материалы, применяемые для изготовления гильз 201
9.8. Пластические деформации гильз в производстве 205
9.9. Разброс характеристик прочности материала 208
Примеры 210
Глава 10. *Функционирование гильз при стрельбе*
10.1. Условия функционирования гильз 214
10.2. Влияние свойств патрона на функционирование гильз 217
10.3. Влияние свойств оружия на функционирование гильз 223
10.4. Способы обеспечения прочности и экстракции гильз при больших давлениях газов 227
10.5. Поперечная устойчивость гильз 230
10.6. Экспериментальное исследование условий прочности и экстракции гильз 232
Примеры 237
Глава 11. *Расчет прочности и экстракции гильз*
11.1. Основные гипотезы образования конечных зазоров 239
11.2. Определение предельной осевой деформации гильзы 240
11.3. Расчет поперечной прочности гильзы 243
11.4. Определение конечных зазоров 243
11.5. Определение усилия экстракции гильз 246
Примеры 247

Глава 12. *Пороха патронов стрелкового оружия*

12.1. Общие понятия о порохах 250
12.2. Физико-химические свойства порохов 251
12.3. Энергетические свойства порохов 253
12.4. Баллистические свойства порохов 254
12.5. Марки порохов 257

Глава 13. *Капсюли-воспламенители*

13.1. Общие сведения о капсюлях-воспламенителях 259
13.2. Схемы патронных капсюлей-воспламенителей 260
13.3. Схемы трубочных капсюлей-воспламенителей 262
13.4. Металлические материалы капсюлей 263
13.5. Ударные (накольные) составы 264
13.6. Чувствительность капсюлей к удару и наколу 267

Приложения 270

Приложение 1. *Значения основных и вспомогательных функций, поправочных коэффициентов, давления пороховых газов, скорости пули и поправок к ним, коэффициентов для расчета динамических характеристик пуль* 270

Таблица 1. Значения основных функций 270
Таблица 2. Значения вспомогательных функций 274
Таблица 3. Значения поправочных коэффициентов 288
Таблица 4. Данные для баллистического расчета (ТБР) 293
Таблица 5. Значения давления пороховых газов 306
Таблица 6. Значения скорости пули 320
Таблица 7. Величины поправок к давлению пороховых газов на температуру заряда 335
Таблица 8. Величины поправок к скорости пули на температуру заряда 343
Таблица 9. Значения коэффициентов α, β, μ, ν 347
Таблица 10. Значения коэффициентов α', β', μ', ν' 359
Таблица 11. Значения коэффициентов K_1, K_2, K_3, K_4 360
Таблица 12. Значения ρ для хвостовой части пули в зависимости от ее длины и угла наклона образующей 361

Приложение 2. *Графики внешнебаллистических расчетов* 362

Литература 368

Василий Михайлович Кириллов,
Виктор Максимович Сабельников

ПАТРОНЫ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ

Редактор Л. А. Захарчук Технический редактор Е. П. Семенова

Подписано в печать 07.08.80. Печ. л. 23,25. Уч.-изд. л. 22,8.
Формат 60×90/16. Работа 9088. 304/1/47